

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

CARRERA DE INGENIERIA QUÍMICA

REDUCCIÓN DEL NIVEL DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS DEL AGUA DE
RETROLAVADO EN LA ETAPA DE FILTRACIÓN

TESIS DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TITULO
DE INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: DIEGO BLADIMIR VÁSCONEZ FLORES

TUTOR: ING. MARIO ROMEO CALLE MIÑACA

QUITO

2013

APROBACIÓN DEL TUTOR DE TESIS

En calidad de tutor, luego del estudio y análisis realizado sobre la tesis presentada por el Señor DIEGO BLADIMIR VÁSCONEZ FLORES que titula REDUCCIÓN DEL NIVEL DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS DEL AGUA DE RETROLAVADO EN LA ETAPA DE FILTRACIÓN, sobre el particular informo que la tesis tiene valor académico y utiliza conocimientos de la Ingeniería Química que han resuelto el problema y los objetivos planteados, por lo que declaro mi conformidad con el mismo.

En la ciudad de Quito, a los 27 días del mes de mayo de 2013.



Ing. Mario Calle M.

PROFESOR TUTOR

AUTORIZACIÓN DE LA AUTORÍA INTELECTUAL

Yo, DIEGO BLADIMIR VÁSCONEZ FLORES en calidad de autor de la tesis realizada sobre la REDUCCIÓN DEL NIVEL DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS DEL AGUA DE RETROLAVADO EN LA ETAPA DE FILTRACIÓN, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o de parte de los que contiene esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor me corresponden, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8, 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Quito 27 de mayo de 2013

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Diego Vásconez Flores', with a large, stylized initial 'D' and 'V'.

Diego Vásconez Flores

C.C: 1002806519

diogovz2@hotmail.com

A mi madre ALICITA, por su cariño, su apoyo, su dedicación y empeño por ayudarme a ser una persona mejor cada día. Por tanto esfuerzo para que yo alcanzara este triunfo, y sobre todo por ese ejemplo de vida que hizo de mi la persona de bien que soy ahora.

A usted le debo este logro; y con usted lo comparto.

AGRADECIMIENTOS

A mi Dios, por haberme dado la sabiduría y la fortaleza para que fuera posible alcanzar esta victoria, y por haber estado siempre junto a mí durante este largo caminar.

A mi padre, ULPIANO porque estoy seguro que junto con mi Dios estuvo siempre velando por mi bien y mostrándome el camino de la honestidad.

A la Facultad de Ingeniería Química, por formar en mí una persona con valores éticos y por contribuir con los conocimientos necesarios para desarrollarme eficientemente en el mundo laboral.

A mi tutor de Tesis Ing. Mario Calle quien con su constancia y esmero compartió los conocimientos necesarios para la realización de este trabajo.

Al Ing. César Alvarado quien con su apoyo y carisma de docente fue de mucha ayuda durante la elaboración de este proyecto.

A Carina Flores, compañera, amiga, confidente y mano derecha, por su incondicional apoyo durante este largo periodo de formación académica.

A mis hermanos SORY y DANNY por ser espejos de vida, no importa lo lejos que estén siempre los llevo conmigo.

A la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento EPMAPS y a sus autoridades quienes dieron su aprobación para la realización de este trabajo como lo es el Ing. Juan Carlos Romero y la Dr. María Fernanda Grijalva quien agradezco de manera especial por su empeño, colaboración y paciencia durante todos los trámites realizados y al Ing. Freddy Muñoz por contribuir en el desarrollo del problema

Al Ing. Franklin Palacio por su amistad, consejos y ayuda, gracias por todo.

Al sistema de potabilización de Puengasí, por su colaboración y apertura en el desarrollo de proyectos de investigación, en especial al Ing. Raúl Montalvo y la Dr. Nelly Moreno.

A mis amigos a quienes les doy gracias por siempre, porque hicieron que aquella época de caminar hacia este sueño, haya sido un lugar mejor donde esperar la vida.

CONTENIDO

	Pág.
LISTA DE TABLAS	xiv
LISTA DE FIGURAS	xxii
LISTA DE GRÁFICOS	xxiv
RESUMEN	xxvii
ABSTRACT	xxviii
 INTRODUCCION	 1
 1. MARCO TEÓRICO	 3
1.1 Agua, definiciones y propiedades	3
1.2 Naturaleza.....	5
1.2.1 <i>Calidad de las aguas disponibles</i>	5
1.3 Impurezas y contaminación del agua	8
1.3.1 <i>Sólidos en suspensión</i>	9
1.3.2 <i>Turbiedad</i>	9
1.3.3 <i>Dureza</i>	9
1.3.4 <i>Acidez o alcalinidad</i>	10
1.3.5 <i>Fenoles y derivados</i>	10
1.3.6 <i>Detergentes</i>	10
1.3.7 <i>Microcontaminanes</i>	10
1.4 Agua potable	11
1.5 Procesos principales de potabilización	11
1.6 Clarificación del agua	12
1.6.1 Suspensiones Coloidales	13
1.6.2 <i>Potencial Zeta</i>	14
1.6.3 <i>Coagulación</i>	15
1.6.3.1 <i>Factores que influyen en el proceso</i>	16

1.6.3.1.1	<i>Tipo y cantidad de coagulante</i>	16
1.6.3.1.2	<i>pH del agua</i>	16
1.6.3.1.3	<i>Tiempo de mezcla y floculación</i>	16
1.6.3.1.4	<i>Influencia de las sales disueltas</i>	16
1.6.3.1.5	<i>Temperatura del agua</i>	17
1.6.3.1.6	<i>Agitación y presencia de núcleos</i>	17
1.6.3.1.7	<i>Influencia de la turbiedad</i>	17
1.6.3.2	<i>Condición óptima</i>	17
1.6.3.3	<i>Mecanismos de funcionamiento</i>	18
1.6.3.4	<i>Dosificación</i>	18
1.6.3.5	<i>Mezcla de los reactivos</i>	19
1.6.3.6	<i>Principales coagulantes</i>	19
1.6.3.6.1	<i>Sales de aluminio</i>	20
1.6.3.6.2	<i>Sales de hierro</i>	20
1.6.3.7	<i>Elección del coagulante</i>	21
1.6.4	<i>Floculación</i>	22
1.6.4.1	<i>Tipos de floculación</i>	23
1.6.4.1.1	<i>Floculación pericinética</i>	23
1.6.4.1.2	<i>Floculación ortocinética</i>	23
1.6.4.2	<i>Parámetros de la floculación</i>	23
1.6.4.3	<i>Floculantes</i>	23
1.6.4.3.1	<i>Floculantes minerales</i>	23
1.6.4.3.2	<i>Floculantes orgánicos naturales</i>	24
1.6.4.3.3	<i>Floculantes orgánicos de síntesis</i>	24
1.6.4.4	<i>Factores que afectan a la floculación</i>	24
1.6.4.4.1	<i>Dosis óptima de polímero</i>	24
1.6.4.4.2	<i>Agitación</i>	25
1.6.4.4.3	<i>Peso molecular del polímero</i>	24
1.6.4.4.4	<i>Concentración de sólidos</i>	25
1.6.4.4.5	<i>Superficie de los sólidos</i>	25
1.6.4.4.6	<i>Efectos de la temperatura</i>	25
1.6.4.4.7	<i>Efectos del pH</i>	25
1.6.5	<i>Sedimentación</i>	26
1.6.5.1	<i>Tipos de sedimentación</i>	26
1.6.5.1.1	<i>Sedimentación de partículas discretas</i>	27
1.6.5.1.2	<i>Sedimentación de partículas floculentas</i>	27
1.6.5.1.2.1	<i>Sedimentación de partículas con caída libre</i>	27

1.6.5.1.3 <i>Sedimentación por caída libre e interferida</i>	33
1.6.5.2 <i>Factores que influyen en la sedimentación</i>	34
1.6.5.2.1 <i>Calidad del agua</i>	34
1.6.5.2.2 <i>Condiciones hidráulicas</i>	34
1.6.5.2.3 <i>Factores externos</i>	35
1.6.5.3 <i>Tipos de sedimentadores</i>	35
1.6.5.3.1 <i>Sedimentadores y decantadores estáticos</i>	36
1.6.5.3.2 <i>Decantadores dinámicos</i>	37
1.6.5.3.2 <i>Decantadores laminares</i>	38
1.6.5.4 <i>Velocidad de sedimentación</i>	41
1.6.5.5 <i>Índice de Willcomb</i>	42
1.6.6 <i>Filtración</i>	44
1.6.6.1 <i>Carrera de filtración</i>	44
1.6.6.2 <i>Mecanismos de filtración</i>	45
1.6.6.2.1 <i>Mecanismo de depósito</i>	45
1.6.6.2.2 <i>Mecanismos de fijación</i>	45
1.6.6.2.3 <i>Mecanismos de desprendimiento</i>	46
1.6.6.3 <i>Tipos de filtración</i>	46
1.6.6.3.1 <i>Filtración lenta</i>	46
1.6.6.3.2 <i>Filtración rápida</i>	47
1.6.6.4 <i>Medio poroso</i>	47
1.6.6.4.1 <i>Granulometría</i>	47
1.6.6.4.2 <i>Talla efectiva</i>	47
1.6.6.4.3 <i>Coeficiente de uniformidad</i>	47
1.6.6.4.4 <i>Forma de los granos</i>	47
1.6.6.4.5 <i>Friabilidad</i>	48
1.6.6.5 <i>Atascamiento y lavado del material filtrante</i>	48
1.6.6.6 <i>Lavado de filtros</i>	48
1.6.6.6.1 <i>Métodos de lavado</i>	48
1.6.6.7 <i>Frecuencia de los lavados</i>	50
1.6.6.8 <i>Consumo de agua de lavado</i>	51
1.6.7 <i>Desinfección</i>	51
1.6.7.1 <i>Cloración</i>	52
1.6.7.2 <i>Las clorominas</i>	53
1.6.7.3 <i>El dióxido de cloro</i>	53
1.6.7.4 <i>Con rayos ultravioletas</i>	53
1.6.7.5 <i>El ozono</i>	54

1.6.8 <i>Gestión de Residuos</i>	54
1.6.8.1 <i>Lodos de la decantación</i>	54
1.6.8.2 <i>Residuos generados en las operaciones de mantenimiento</i>	54
1.6.8.3 <i>Residuos generados en la limpieza de depósitos residuales</i>	55
1.6.8.4 <i>Plantas de tratamiento de aguas residuales</i>	55
 2. MARCO EXPERIMENTAL	 56
2.1 <i>Proceso experimental</i>	56
2.1.1 <i>Descripción del proceso</i>	56
2.1.2 <i>Diagrama del proceso experimental</i>	57
2.1.3 <i>Localización de la Planta de Tratamiento de Conocoto</i>	58
2.2 <i>Descripción de la planta de tratamiento de agua potable de Conocoto</i>	59
2.2.1 <i>Diagrama de flujo del proceso de la Planta de Tratamiento de Agua de Conocoto</i>	61
2.2.2 <i>Unidades de la planta</i>	62
2.3 <i>Procedimiento de operación</i>	62
2.3.1 <i>Ingreso de agua cruda</i>	62
2.3.1.1 <i>Operación automática</i>	63
2.3.1.2 <i>Operación manual</i>	63
2.3.2 <i>Dosificación de sulfato de aluminio líquido y polímero</i>	64
2.3.2.1 <i>Medición de pH, color y turbiedad</i>	64
2.3.2.2 <i>Prueba de jarras</i>	64
2.3.2.3 <i>Dosificación de sulfato de aluminio líquido</i>	64
2.3.2.2.1 <i>Cálculo tipo para la dosificación de sulfato de aluminio</i>	65
2.3.2.4 <i>Dosificación de polímero (LIPESA 1560 PWG/FLOCULANTE)</i>	66
2.3.2.4.1 <i>Cálculo tipo para la dosificación de polímero</i>	66
2.3.3 <i>Sedimentación</i>	67
2.3.4 <i>Filtración de agua sedimentada</i>	69
2.3.4.1 <i>Salida de operación de un filtro</i>	69
2.3.4.2 <i>Lavado de filtro</i>	70
2.3.4.3 <i>Puesta en operación de un filtro previamente lavado</i>	71
2.3.5 <i>Desinfección de agua filtrada</i>	71
2.3.5.1 <i>Procedimiento para retiro de operación de cilindros</i>	71
2.3.5.2 <i>Procedimiento para poner en operación los cilindros</i>	72
2.3.6 <i>Sistema de distribución y retrolavado de filtros</i>	72
2.4 <i>Diseño experimental</i>	74
2.4.1 <i>Materiales y equipos</i>	74
2.4.1.1 <i>Sustancias y reactivos para la prueba de jarras</i>	74

2.4.1.2	<i>Sustancias y reactivos para la columna de sedimentación de laboratorio</i>	75
2.4.1.3	<i>Materiales y equipos para la prueba de jarras</i>	75
2.4.1.4	<i>Materiales y equipos para la prueba de la columna de sedimentación</i>	75
2.4.2	<i>Procedimiento para la prueba de jarras</i>	76
2.4.3	<i>Procedimiento para la prueba de la columna de sedimentación</i>	76
2.4.4	<i>Preparación de la solución de coagulante y determinación del tipo de coagulante</i>	78
2.4.4.1	<i>Sulfato de aluminio al 10% (solución madre)</i>	78
2.4.4.2	<i>Sulfato de aluminio solución al 1%</i>	78
2.4.4.3	<i>Procedimiento para la determinación del coagulante y la dosis óptima del mismo</i>	78
2.4.5	<i>Preparación de la solución de floculante y determinación de su eficacia</i>	79
2.4.5.1	<i>Solución de polímero catiónico al 0.1%</i>	79
2.4.5.2	<i>Solución de polímero aniónico al 0.1%</i>	79
2.4.5.3	<i>Procedimiento para determinar la dosis óptima de floculante</i>	79
2.4.6	<i>Gradiente y tiempo óptimo de floculación</i>	80
2.4.6.1	<i>Procedimiento del ensayo para determinar tiempos y gradientes óptimos</i>	80
2.4.7	<i>Norma ASTM 2035-08</i>	81
2.4.7.1	<i>Alcance</i>	81
2.4.7.2	<i>Resumen de la práctica</i>	82
2.4.7.3	<i>Significado y uso</i>	82
2.5	<i>Datos experimentales</i>	83
2.5.1	<i>Determinación de dosis óptima de coagulante</i>	83
	[Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012] (<i>Sulfato de aluminio</i>)	
2.5.2	<i>Determinación de dosis óptima de coagulante</i>	88
	[Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013] (<i>Sulfato de aluminio</i>)	
2.5.3	<i>Determinación de dosis óptima de coagulante</i>	93
	[Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013] (<i>Sulfato de aluminio</i>)	
2.5.4	<i>Determinación de dosis óptima de coagulante</i>	98
	[Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013] (<i>Sulfato de aluminio</i>)	
2.5.5	<i>Determinación de dosis óptima de coagulante</i>	103
	[Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012] (<i>Policloruro de aluminio</i>)	
2.5.6	<i>Determinación de dosis óptima de coagulante</i>	108
	[Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013] (<i>Policloruro de aluminio</i>)	
2.5.7	<i>Determinación de dosis óptima de coagulante</i>	113
	[Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013] (<i>Policloruro de aluminio</i>)	
2.5.8	<i>Determinación de dosis óptima de coagulante</i>	118
	[Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013] (<i>Policloruro de aluminio</i>)	
2.5.9	<i>Evaluación de la eficacia del floculante</i>	123

2.5.9.1 <i>Dosis óptima de floculante</i> [Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012]	123
2.5.9.2 <i>Dosis óptima de floculante</i> [Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013]	127
2.5.9.3 <i>Dosis óptima de floculante</i> [Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013]	131
2.5.9.4 <i>Dosis óptima de floculante</i> [Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013]	135
2.5.10 <i>Gradiente y tiempo óptimo de floculación</i>	139
2.5.10.1 <i>Gradiente y tiempo óptimo de floculación</i> [SSo = 26 – SSo =24]	139
2.5.10.2 <i>Gradiente y tiempo óptimo de floculación</i> [SSo = 22 – SSo =30]	141
2.5.11 <i>Reporte de análisis del agua a las condiciones óptimas</i>	143
2.5.11.1 <i>Reporte de análisis del agua a las condiciones óptimas</i>	143
[Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012]	
2.5.11.2 <i>Reporte de análisis del agua a las condiciones óptimas</i>	145
[Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013]	
2.5.11.3 <i>Reporte de análisis del agua a las condiciones óptimas</i>	147
[Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013]	
2.5.11.4 <i>Reporte de análisis del agua a las condiciones óptimas</i>	149
[Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013]	
2.6 <i>Velocidad de sedimentación</i>	151
2.6.1 <i>Sedimentación con floculación</i>	151
2.6.2 <i>Experimentación a las condiciones más altas de Sólidos Suspendidos</i>	152
 3. <i>CÁLCULOS Y RESULTADOS</i>	 153
3.1 <i>Cálculos</i>	153
3.1.1 <i>Cálculos del volumen de dosificación de sulfato de aluminio líquido y floculante</i>	153
3.1.1.1 <i>Sulfato de Aluminio; Cálculo Modelo</i>	153
[Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012]	
3.1.1.2 <i>Floculante (LIPESA 1560 PGW)</i> [Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012]	154
3.1.2 <i>Análisis de los datos de las pruebas de jarras</i>	154
3.1.2.1 <i>Comportamiento del coagulante</i> [Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012]	155
3.1.2.2 <i>Comportamiento del coagulante</i> [Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013]	157
3.1.2.3 <i>Comportamiento del coagulante</i> [Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013]	159
3.1.2.4 <i>Comportamiento del coagulante</i> [Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013]	161
3.1.3 <i>Relación de gradiente de velocidad</i>	163
3.1.4 <i>Relación de gradiente de velocidad y tiempos óptimos de floculación</i>	164
3.1.5 <i>Eficiencia del proceso de floculación</i>	167
3.1.5.1 <i>Cálculo de la eficiencia de remoción [Muestra SSo: (24-26 mg/l)] {G=26}</i>	167
3.1.5.2 <i>Cálculo de la eficiencia de remoción [Muestra SSo: (24-26 mg/l)] {G=42}</i>	167
3.1.6 <i>Rediseño de la planta actual de tratamiento (Floculador)</i>	168

3.1.6.1	<i>Capacidad del tanque de floculación</i>	168
3.1.6.2	<i>Longitud de los canales</i>	169
3.1.6.3	<i>Sección del canal</i>	169
3.1.6.4	<i>Espaciamiento entre tabiques</i>	170
3.1.6.5	<i>Espaciamiento entre la punta del tabique y la pared</i>	170
3.1.6.6	<i>Ancho del tanque</i>	171
3.1.6.7	<i>Número de tabiques</i>	171
3.1.6.8	<i>Longitud del floculador (tramo1)</i>	172
3.1.6.9	<i>Pérdida de carga por el cambio de dirección y turbulencia h_1</i>	172
3.1.7	<i>Proceso de sedimentación</i>	179
3.1.7.1	<i>Etapas 1</i>	179
3.1.7.1.1	<i>Cálculo modelo para determinar el %SS separados</i>	179
3.1.7.2	<i>Etapas 3</i>	181
3.1.7.3	<i>Etapas 4</i>	183
3.1.7.3.1	<i>Cálculo de la velocidad de sedimentación, el %SS separados y factor de carga</i>	183
3.1.8	<i>Rediseño de la planta actual de tratamiento (Sedimentador)</i>	186
3.1.8.1	<i>Capacidad del sedimentador</i>	186
3.1.8.2	<i>Longitud del sedimentador</i>	186
3.1.9	<i>Análisis de los resultados</i>	187
3.1.10	<i>Filtración</i>	192
3.1.10.1	<i>Velocidad de filtración</i>	192
3.1.10.2	<i>Carrera de filtración</i>	192
3.1.10.3	<i>Eficiencia de los filtros</i>	193
3.1.10.4	<i>Análisis del tiempo de lavado</i>	204
3.1.10.5	<i>Balance de masa en los filtros</i>	205
3.1.10.5.1	<i>Cálculo de la masa de lodo en el filtro</i>	206
3.1.10.5.2	<i>Cálculo del espesor del lodo en el filtro</i>	206
3.1.10.5.3	<i>Cálculo de la masa del lodo a diferentes caudales</i>	207
3.1.10.5.4	<i>Cálculo del tiempo de lavado de filtros a diferentes caudales de trabajo</i>	209
3.2	<i>Resultados</i>	210
3.2.1	<i>Rediseño sugerido de la Planta de Tratamiento de Agua de Conocoto</i>	219
3.2.1.1	<i>Descripción del cálculo del Rediseño</i>	219
3.2.1.2	<i>Esquema del rediseño de la Planta Potabilizadora de Agua de Conocoto</i>	219
3.2.1.3	<i>Diagrama de Flujo del Rediseño sugerido</i>	220
4.	<i>DISCUSIÓN DE RESULTADOS</i>	222
4.1	<i>Discusión</i>	222

4.2 Parámetros Operacionales Recomendados (para el buen funcionamiento de la Planta) ...	223
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	224
5.1 Conclusiones Generales	224
5.2 Conclusiones Específicas	225
5.3 Recomendaciones	225
CITAS BIBLIOGRAFICAS	226
BIBLIOGRAFÍA	230
ANEXOS	231

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Principales diferencias entre aguas superficiales y aguas profundas	7
Tabla 2. Índice de Willcomb	44
Tabla 3. Secuencia de ejecución para parámetros óptimos de floculación	81
Tabla 4. Datos obtenidos en prueba de jarras con Sulfato de aluminio	83
[Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012] Prueba1	
Tabla 5. Datos obtenidos en prueba de jarras con Sulfato de aluminio	84
[Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012] Prueba2	
Tabla 6. Datos obtenidos en prueba de jarras con Sulfato de aluminio	85
[Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012] Prueba3	
Tabla 7. Datos obtenidos en prueba de jarras con Sulfato de aluminio	86
[Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012] Prueba4	
Tabla 8. Datos obtenidos en prueba de jarras con Sulfato de aluminio	87
[Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012]] Prueba5	
Tabla 9. Datos obtenidos en prueba de jarras con Sulfato de aluminio	88
[Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013] Prueba1	
Tabla 10. Datos obtenidos en prueba de jarras con Sulfato de aluminio	89
[Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013] Prueba2	
Tabla 11. Datos obtenidos en prueba de jarras con Sulfato de aluminio	90
[Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013] Prueba3	
Tabla 12. Datos obtenidos en prueba de jarras con Sulfato de aluminio	91
[Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013] Prueba4	

Tabla 13. Datos obtenidos en prueba de jarras con Sulfato de aluminio	92
[Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013] Prueba5.	
Tabla 14. Datos obtenidos en prueba de jarras con Sulfato de aluminio	93
[Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013] Prueba1	
Tabla 15. Datos obtenidos en prueba de jarras con Sulfato de aluminio	94
[Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013] Prueba2.	
Tabla 16. Datos obtenidos en prueba de jarras con Sulfato de aluminio	95
[Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013] Prueba3.	
Tabla 17. Datos obtenidos en prueba de jarras con Sulfato de aluminio	96
[Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013] Prueba4.	
Tabla 18. Datos obtenidos en prueba de jarras con Sulfato de aluminio	97
[Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013] Prueba5.	
Tabla 19. Datos obtenidos en prueba de jarras con Sulfato de aluminio	98
[Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013] Prueba1. .	
Tabla 20. Datos obtenidos en prueba de jarras con Sulfato de aluminio	99
[Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013] Prueba2.	
Tabla 21. Datos obtenidos en prueba de jarras con Sulfato de aluminio	100
[Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013] Prueba3.	
Tabla 22. Datos obtenidos en prueba de jarras con Sulfato de aluminio	101
[Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013] Prueba4.	
Tabla 23. Datos obtenidos en prueba de jarras con Sulfato de aluminio	102
[Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013] Prueba5.	
Tabla 24. Datos obtenidos en prueba de jarras con Policloruro de aluminio	103
[Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012] Prueba1.	
Tabla 25. Datos obtenidos en prueba de jarras con Policloruro de aluminio	104
[Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012] Prueba2.	
Tabla 26. Datos obtenidos en prueba de jarras con Policloruro de aluminio	105
[Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012] Prueba3.	
Tabla 27. Datos obtenidos en prueba de jarras con Policloruro de aluminio	106
[Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012] Prueba4.	

Tabla 28. Datos obtenidos en prueba de jarras con Policloruro de aluminio	107
[Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012] Prueba5.	
Tabla 29. Datos obtenidos en prueba de jarras con Policloruro de aluminio	108
[Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013] Prueba1.	
Tabla 30. Datos obtenidos en prueba de jarras con Policloruro de aluminio	109
[Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013] Prueba2.	
Tabla 31. Datos obtenidos en prueba de jarras con Policloruro de aluminio	110
[Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013] Prueba3.	
Tabla 32. Datos obtenidos en prueba de jarras con Policloruro de aluminio	111
[Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013] Prueba4.	
Tabla 33. Datos obtenidos en prueba de jarras con Policloruro de aluminio	112
[Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013] Prueba5.	
Tabla 34. Datos obtenidos en prueba de jarras con Policloruro de aluminio	113
[Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013] Prueba1.	
Tabla 35. Datos obtenidos en prueba de jarras con Policloruro de aluminio	114
[Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013] Prueba2.	
Tabla 36. Datos obtenidos en prueba de jarras con Policloruro de aluminio	115
[Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013] Prueba3.	
Tabla 37. Datos obtenidos en prueba de jarras con Policloruro de aluminio	116
[Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013] Prueba4.	
Tabla 38. Datos obtenidos en prueba de jarras con Policloruro de aluminio	117
[Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013] Prueba5.	
Tabla 39. Datos obtenidos en prueba de jarras con Policloruro de aluminio	118
[Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013] Prueba1.	
Tabla 40. Datos obtenidos en prueba de jarras con Policloruro de aluminio	119
[Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013] Prueba2.	
Tabla 41. Datos obtenidos en prueba de jarras con Policloruro de aluminio	120
[Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013] Prueba3.	
Tabla 42. Datos obtenidos en prueba de jarras con Policloruro de aluminio	121
[Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013] Prueba4.	

Tabla 43. Datos obtenidos en prueba de jarras con Policloruro de aluminio	122
[Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013] Prueba5.	
Tabla 44. Datos obtenidos en prueba de jarras variando la dosis de floculante con	123
Sulfato de aluminio [Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012] Prueba1.	
Tabla 45. Datos obtenidos en prueba de jarras variando la dosis de floculante con	124
Sulfato de aluminio [Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012] Prueba2.	
Tabla 46. Datos obtenidos en prueba de jarras variando la dosis de floculante con	125
Policloruro de aluminio [Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012] Prueba1.	
Tabla 47. Datos obtenidos en prueba de jarras variando la dosis de floculante con	126
Policloruro de aluminio [Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012] Prueba2.	
Tabla 48. Datos obtenidos en prueba de jarras variando la dosis de floculante con	127
Sulfato de aluminio [Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013] Prueba1.	
Tabla 49. Datos obtenidos en prueba de jarras variando la dosis de floculante con	128
Sulfato de aluminio [Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013] Prueba2.	
Tabla 50. Datos obtenidos en prueba de jarras variando la dosis de floculante con	129
Policloruro de aluminio [Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013] Prueba1.	
Tabla 51. Datos obtenidos en prueba de jarras variando la dosis de floculante con	130
Policloruro de aluminio [Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013] Prueba2.	
Tabla 52. Datos obtenidos en prueba de jarras variando la dosis de floculante con	131
Aluminio de aluminio [Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013] Prueba1.	
Tabla 53. Datos obtenidos en prueba de jarras variando la dosis de floculante con	132
Aluminio de aluminio [Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013] Prueba2.	
Tabla 54. Datos obtenidos en prueba de jarras con variando la dosis de floculante	133
Policloruro de aluminio [Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013] Prueba1.	
Tabla 55. Datos obtenidos en prueba de jarras variando la dosis de floculante con	134
Policloruro de aluminio [Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013] Prueba2.	
Tabla 56. Datos obtenidos en prueba de jarras variando la dosis de floculante con	135
Sulfato de aluminio [Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013] Prueba1	

Tabla 57. Datos obtenidos en prueba de jarras variando la dosis de floculante con Sulfato de aluminio [Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013] Prueba2.	136
Tabla 58. Datos obtenidos en prueba de jarras variando la dosis de floculante con Policloruro de aluminio [Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013] Prueba1.	137
Tabla 59. Datos obtenidos en prueba de jarras variando la dosis de floculante con Policloruro de aluminio [Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013] Prueba2	138
Tabla 60. Datos obtenidos en pruebas de gradiente y tiempo óptimo de floculación a 40 rpm [SSo = 26 – SSo =24]. Prueba 1.	139
Tabla 61. Datos obtenidos en pruebas de gradiente y tiempo óptimo de floculación a 60 rpm [SSo = 26 – SSo =24]. Prueba 2.	140
Tabla 62. Datos obtenidos en pruebas de gradiente y tiempo óptimo de floculación a 40 rpm [SSo = 30 – SSo =22]. Prueba 1.	141
Tabla 63. Datos obtenidos en pruebas de gradiente y tiempo óptimo de floculación a 60 rpm [SSo = 30 – SSo =22]. Prueba 2	142
Tabla 64. Reporte de análisis del agua (Parámetros físicos) [Fecha de Muestreo: Diciembre 2012].	143
Tabla 65. Reporte de análisis del agua (Parámetros inorgánicos) [Fecha de Muestreo: Diciembre 2012].	144
Tabla 66. Reporte de análisis del agua (Parámetros físicos) [Fecha de Muestreo: Enero 2013].	145
Tabla 67. Reporte de análisis del agua (Parámetros inorgánicos) [Fecha de Muestreo: Enero 2013].	146
Tabla 68. Reporte de análisis del agua (Parámetros físicos) [Fecha de Muestreo: Febrero 2013].	147
Tabla 69. Reporte de análisis del agua (Parámetros inorgánicos) [Fecha de Muestreo: Febrero 2013].	148
Tabla 70. Reporte de análisis del agua (Parámetros físicos) [Fecha de Muestreo: Marzo 2013].	149
Tabla 71. Reporte de análisis del agua (Parámetros inorgánicos) [Fecha de Muestreo: Marzo 2013].	150

Tabla 72. Datos de sedimentación en laboratorio	152
Tabla 73. Valores de volumen de dosificación	154
Tabla 74. Recopilación de datos de prueba de jarras [SSo = 26 (mg/l)]	155
Tabla 75. Recopilación de datos de prueba de jarras [SSo = 24 (mg/l)]	157
Tabla 76. Recopilación de datos de prueba de jarras [SSo = 30 (mg/l)]	159
Tabla 77. Recopilación de datos de prueba de jarras [SSo = 22 (mg/l)]	161
Tabla 78. Valores de relación entre G y rpm	163
Tabla 79. Valores de turbiedad y SS en función de diferente tiempo de floculación	164
[Muestra SSo (24-26 mg/l)] para G=26	
Tabla 80. Valores de turbiedad y SS en función de diferente tiempo de floculación	165
[Muestra SSo (24-26 mg/l)] para G=42	
Tabla 81. Valores de turbiedad y SS en función de diferente tiempo de floculación	165
[Muestra SSo (22-30 mg/l)] para G=26	
Tabla 82. Valores de turbiedad y SS en función de diferente tiempo de floculación	165
[Muestra SSo (22-30 mg/l)] para G=42.	
Tabla 83. Valores de turbiedad y tiempo óptimo de floculación	167
Tabla 84. Valores de turbiedad removida a diferentes gradientes de velocidad	168
Tabla 85. Sólidos Suspendidos en el clarificador	168
Tabla 86. Valores de diseño de floculador (Sección 1) Caudal [200 l/s]	173
Tabla 87. Valores de diseño de floculador (Sección 2) Caudal [200 l/s]	173
Tabla 88. Valores de diseño de floculador (Sección 1) Caudal [205 l/s]	174
Tabla 89. Valores de diseño de floculador (Sección 2) Caudal [205 l/s]	174
Tabla 90. Valores de diseño de floculador (Sección 1) Caudal [210 l/s]	175
Tabla 91. Valores de diseño de floculador (Sección 2) Caudal [210 l/s]	175
Tabla 92. Valores de diseño de floculador (Sección 1) Caudal [215 l/s]	176
Tabla 93. Valores de diseño de floculador (Sección 2) Caudal [215 l/s]	176

Tabla 94. Valores de diseño de floculador (Sección 1) Caudal [220 l/s]	177
Tabla 95. Valores de diseño de floculador (Sección 2) Caudal [220 l/s]	177
Tabla 96. Valores de diseño de floculador (Sección 2) Caudal [225 l/s]	178
Tabla 97. Valores de diseño de floculador (Sección 2) Caudal [225 l/s]	178
Tabla 98. Resultados de %SS separados a condiciones de {26SS ₀ }	179
Tabla 99. Resultados de %SS separados a condiciones de {30SS ₀ }	180
Tabla 100. Datos base para los gráficos 14 y 15	181
Tabla 101. Resultados de velocidad de sedimentación [H = 1.6 metros]	183
Tabla 102. Sólidos Suspendedos en el sedimentador	186
Tabla 103. Valores de diseño, calculados para el sedimentador [Muestra SSo (24-26 mg/l)]	187
Tabla 104. Valores de diseño, calculados para el sedimentador [Muestra SSo (22-30 mg/l)]	187
Tabla 105. Valores de diseño, calculados para el sedimentador a volumen constante	188
[Muestra SSo (24-26 mg/l)]	
Tabla 106. Valores de diseño, calculados para el sedimentador a volumen constante	190
[Muestra SSo (22-30 mg/l)]	
Tabla 107. Datos obtenidos de la operación de filtros	192
Tabla 108. Velocidad y caudal de lavado registrado para varios meses	193
Tabla 109. Datos de retrolavado [FILTRO 1]	194
Tabla 110. Datos de retrolavado [FILTRO 2]	194
Tabla 111. Datos de retrolavado [FILTRO 3]	194
Tabla 112. Datos de retrolavado [FILTRO 4]	195
Tabla 113. Datos de retrolavado [FILTRO 5]	195
Tabla 114. Datos de retrolavado [FILTRO 6]	195
Tabla 115. Datos de retrolavado (modificando el tiempo de lavado) a las 42 horas	202
Tabla 116. Datos de retrolavado (modificando el tiempo de lavado) a las 36 horas	202

Tabla 117. Análisis de volúmenes del agua de lavado	205
Tabla 118 Valores de masa y espesor del lodo en el filtro Caudal [205 l/s]	207
Tabla 119 Valores de masa y espesor del lodo en el filtro Caudal [210 l/s]	207
Tabla 120 Valores de masa y espesor del lodo en el filtro Caudal [215 l/s]	207
Tabla 121 Valores de masa y espesor del lodo en el filtro Caudal [220 l/s]	208
Tabla 122 Valores de masa y espesor del lodo en el filtro Caudal [225 l/s]	208
Tabla 123 Valores de masa y espesor del lodo en el filtro Caudal [230 l/s]	208
Tabla 124. Tiempo de lavado de filtros a varios caudales de entrada	209
Tabla 125. Resultados óptimos de coagulante y floculante en pruebas de jarras	210
(Sulfato de Aluminio)	
Tabla 126. Resultados óptimos de coagulante y floculante en pruebas de jarras	211
(Policloruro de Aluminio)	
Tabla 127. Resultados óptimos en pruebas de gradiente y tiempo óptimo de floculación	212
Tabla 128. Resultados de parámetros físicos medidos del agua sedimentada	213
Tabla 129. Resultados de parámetros inorgánicos medidos del agua sedimentada	214
Tabla 130. Resultados de diseño del floculador (Sección 1)	215
Tabla 131. Resultados de diseño del floculador (Sección 2)	216
Tabla 132. Resultados de diseño, calculados para el sedimentador	217
[Muestra SSo: 24-26 (mg/l)]	
Tabla 133. Resultados de diseño, calculados para el sedimentador	218
[Muestra SSo: 22-30 (mg/l)]	
Tabla 134. Resultado de volúmenes de agua de lavado	221
Tabla 135. Análisis de volúmenes de agua de lavado	221

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Proceso de clarificación	13
Figura 2. Cargas superficiales de la partícula coloidal	13
Figura 3. Potencial zeta	14
Figura 4. Formación de agregados de partículas o flóculos	14
Figura 5. Equipo de laboratorio para ensayos de sedimentación	28
Figura 6. Curva de variación de eficiencia en función de la velocidad de sedimentación	28
Figura 7. Decantación por caída interferida	29
Figura 8. Decantación por caída interferida	30
Figura 9. Fuerzas actuantes en una partícula	33
Figura 10. Trayectoria ideal de las partículas	36
Figura 11. Zonificación de un sedimentador	36
Figura 12. Componentes de un decantador de mano de lodos	37
Figura 13. Efecto de introducción de superficies intermedias de sedimentación en los decantadores convencionales.	38
Figura 14. Decantador de láminas horizontales	39
Figura 15. Decantador de láminas inclinadas	39
Figura 16. Decantador de placas con canaletas laterales de recolección de agua decantada,..... tolvas continuas para lodos y extracción mediante sifones	40

Figura 17. Decantador de placas adecuado para plantas grandes: canal central de distribución, sistemas de recolección mediante tuberías y tolvas de lodos con colectores de extracción uniforme.	40
Figura 18. Índice de Willcomb para determinar el tamaño del flóculo	43
Figura 19. Mapa de Ubicación (Vista Satelital) Planta de tratamiento de agua potable en Conocoto	58
Figura 20. Planta de tratamiento de agua potable de Conocoto	59
Figura 21. Diagrama general de la planta de tratamiento de agua potable de Conocoto	60
Figura 22. Canal de conducción de agua hacia la planta de Conocoto	62
Figura 23. Canal de ingreso (Cámara de hormigón)	63
Figura 24. Dosificación de coagulante	65
Figura 25. Dosificación de polímero	67
Figura 26. Sistema de sedimentación	68
Figura 27. Sistema de filtración	69
Figura 28. Etapas de retrolavado de filtros	70
Figura 29. Cilindros de cloro gas	72
Figura 30. Cámara de válvulas de distribución	73
Figura 31. Columna de sedimentación a nivel de laboratorio	77
Figura 32. Esquema de la columna de sedimentación a nivel de laboratorio	151
Figura 33. Balance de masa del filtro	206
Figura 34. Esquema de Rediseño de la Planta de Tratamiento de Agua de Conocoto	219

LISTA DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1. Color y Sólidos Suspendidos en función de la dosificación de Sulfato de Aluminio [Muestra con SSo = 26 (mg/l)]	156
Gráfico 2. Turbiedad en función de la dosificación de Sulfato de Aluminio [Muestra con SSo = 26 (mg/l)]	156
Gráfico 3. Color y Sólidos Suspendidos en función de la dosificación de Sulfato de Aluminio [Muestra con SSo = 24 (mg/l)]	158
Gráfico 4. Turbiedad en función de la dosificación de Sulfato de Aluminio [Muestra con SSo = 24 (mg/l)]	158
Gráfico 5. Color y Sólidos Suspendidos en función de la dosificación de Sulfato de Aluminio [Muestra con SSo = 30 (mg/l)]	160
Gráfico 6. Turbiedad en función de la dosificación de Sulfato de Aluminio [Muestra con SSo = 30 (mg/l)]	160
Gráfico 7. Color y Sólidos Suspendidos en función de la dosificación de Sulfato de Aluminio [Muestra con SSo = 22 (mg/l)]	162
Gráfico 8. Turbiedad en función de la dosificación de Sulfato de Aluminio [Muestra con SSo = 22 (mg/l)]	162
Gráfico 9. Intensidad de mezcla en función del gradiente de velocidad [Muestra con SSo = (24-26 mg/l)]	164
Gráfico 10. Turbiedad en función del tiempo de floculación [Muestra con SSo = (22-30 mg/l)]	166
Gráfico 11. Tiempo de floculación [Muestra con SSo = (22-30 mg/l)]	166

Gráfico 12. Sólidos en suspensión (%SS) separados en función del tiempo	180
[Condiciones de {26 SSo}]	
Gráfico 13. Sólidos en suspensión (%SS) separados en función del tiempo	181
[Condiciones de {30 SSo}]	
Gráfico 14. Gráfico de sedimentación. Los números de cada curva corresponden a los	182
porcentajes de SS separados [Condiciones de {26 SSo}]	
Gráfico 15. Gráfico de sedimentación. Los números de cada curva corresponden a los	182
porcentajes de SS separados [Condiciones de {30 SSo}]	
Gráfico 16. Separación de sólidos en suspensión (%SS) en función de la carga superficial	184
[Condiciones de {26 SSo}]	
Gráfico 17. Separación de sólidos en suspensión (%SS) en función de la carga superficial	184
[Condiciones de {30 SSo}]	
Gráfico 18. %SS separados en función de la velocidad de sedimentación y del tiempo	185
[Condiciones de {26 SSo}]	
Gráfico 19. %SS separados en función de la velocidad de sedimentación y del tiempo	185
[Condiciones de {30 SSo}]	
Gráfico 20. %SS separados en función del caudal a volumen variable de sedimentador	189
[Muestra con SSo = (24-26 mg/l)]	
Gráfico 21. %SS separados en función del caudal a volumen variable de sedimentador	191
[Muestra con SSo = (22-30 mg/l)]	
Gráfico 22. Turbiedad y Sólidos suspendidos en función del tiempo [FILTRO 1]	196
Gráfico 23. Aluminio Residual en función de tiempo [FILTRO 1]	196
Gráfico 24. Turbiedad y Sólidos suspendidos en función del tiempo [FILTRO 2]	197
Gráfico 25. Aluminio Residual en función de tiempo [FILTRO 2]	197
Gráfico 26. Turbiedad y Sólidos suspendidos en función del tiempo [FILTRO 3]	198
Gráfico 27. Aluminio Residual en función de tiempo [FILTRO 3]	198
Gráfico 28. Turbiedad y Sólidos suspendidos en función del tiempo [FILTRO 4]	199
Gráfico 29. Aluminio Residual en función de tiempo [FILTRO 4]	199

Gráfico 30. Turbiedad y Sólidos suspendidos en función del tiempo [FILTRO 5]	200
Gráfico 31. Aluminio Residual en función de tiempo [FILTRO 5]	200
Gráfico 32. Turbiedad y Sólidos suspendidos en función del tiempo [FILTRO 6]	201
Gráfico 33. Aluminio Residual en función de tiempo [FILTRO 6]	201
Gráfico 34. Turbiedad y Sólidos Suspendidos en función del tiempo [FILTRO 6]	202
(tiempo 42 horas)	
Gráfico 35. Aluminio Residual en función del tiempo [FILTRO6] (tiempo 42 horas)	203
Gráfico 36. Turbiedad y Sólidos suspendidos en función del tiempo [FILTRO 6]	203
(tiempo 36 horas)	
Gráfico 37. Aluminio Residual en función del tiempo [FILTRO6] (tiempo 36 horas)	204

REDUCCIÓN DEL NIVEL DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS DEL AGUA DE RETROLAVADO EN LA ETAPA DE FILTRACIÓN

RESUMEN

Se propone un estudio de las etapas de clarificación y filtración de la Planta de tratamiento de agua de Conocoto, con el propósito de obtener las mejores condiciones de operación y cumplir los objetivos planteados.

Se realizó un estudio de la etapa de floculación mediante prueba de jarras para encontrar la dosis recomendable de coagulante y floculante y con la cual se efectuó el cálculo del gradiente de velocidad; adicionalmente se determinó las mejores condiciones de sedimentación y se calculó su tiempo y velocidad. Complementariamente se realizó un rediseño del clarificador: Floculador y Sedimentador, previo un análisis de las condiciones actuales de la Planta para finalmente realizar un balance de masa de la etapa de filtración con el cual se calculó el tiempo de retrolavado a diferentes caudales de trabajo.

Los resultados indican que las mejores condiciones de operación de la Planta para las muestras tomadas fueron: 60 mg/l – 70 mg/l de Sulfato de Aluminio y 0.15 mg/l de Polímero LIPESA 1560 PWG; tiempo de floculación de 20 min a un gradiente de velocidad de 26 y velocidad de sedimentación que va en un rango de [1,74 – 25,26] (m/h)

Se concluye que el trabajo cumple con todos los objetivos planteados y con los parámetros de calidad basados en la Norma Técnica de la ordenanza Ambiental 213 para el distrito Metropolitano y de la resolución 6022 SST de la Secretaría de Ambiente.

PALABRAS CLAVES: /PLANTAS DE TRATAMIENTO/AGUA POTABLE/
FLOCULACIÓN/ SEDIMENTACIÓN/ SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN/ FILTRACIÓN/.

REDUCTION OF SUSPENDED SOLIDS FROM BACKWASH WATER STAGE FILTRATION

ABSTRACT

It is proposed a study of the stages of clarification and filtration of the plant of treatment water of Conocoto, with the aim to obtain the best operating conditions and meet the objectives.

Realize a study of the flocculation step by jar test to find the recommended dose of coagulant and flocculant and which amount was calculated velocity gradient; additionally determined the best conditions and calculated settling time and speed. Additionally was redesigned clarifier: Flocculation and sedimentation, after an analysis of the current condition of the plant to finally conduct a mass balance of the filtration step which was calculated backwash time working at different flow rates.

The results indicate that the best operating conditions of the plant for the samples were: 60 mg/l-70 mg/l of aluminum sulfate and 0.15 mg/l Polymer 1560 LIPESA PWG; flocculation time of 20 min to a velocity gradient sedimentation rate 26 and going in a range of [1.74 to 25.26] (m / h)

It is concluded that the work meets all the objectives and quality parameters based on the Technical Standard for Environmental Ordinance 213 for the Metropolitan District and SST resolution 6022 of the Ministry of Environment.

KEYWORDS: / TREATMENT PLANT/ DRINKING WATER / FLOCCULATION / SEDIMENTATION / SOLIDS SUSPENDED / FILTRATION /

INTRODUCCION

La Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento tiene a su cargo el control de 22 Plantas potabilizadoras de agua, 13 en la zona urbana y 9 en los sectores rurales; una de estas es la Planta de Tratamiento de agua potable en Conocoto donde fue realizado el trabajo de investigación; si bien el agua resultante del proceso de potabilización cumple con la Norma INEN 1108, el agua proveniente del retrolavado de los filtros es enviada al drenaje para su eliminación; este efluente debe cumplir con parámetros impuestos por Normas técnicas de la Ordenanza Ambiental; sin embargo esta Planta no cumple con estos límites permisibles en el parámetro de sólidos suspendidos SST.

Es así que se propone como objetivo general; la reducción del nivel de Sólidos Suspendidos del efluente resultante del proceso de retrolavado de los filtros en la Planta de potabilización de Conocoto y como objetivos específicos; la determinación de las mejores condiciones de operación para el proceso de clarificación y la realización de un estudio del tiempo óptimo de retrolavado de los filtros.

Para esto se propone hacer un estudio de la etapa de clarificación cuyos sólidos suspendidos presentan valores altos en comparación al referente; el estudio consta de una serie de ensayos de dosificación de coagulantes y floculantes con la ayuda de la prueba de jarra; cuyos resultados serán útiles para el cálculo del gradiente de velocidad y tiempos óptimos de floculación, para finalmente realizar un rediseño del floculador; con esto se pretende hacer una comparación entre el volumen actual de la planta y el volumen que debe tener el floculador en temporadas cuyo caudal varié considerablemente.

Adicional a esto un conjunto de pruebas en la etapa de sedimentación, valiéndose de una torre de sedimentación a nivel de laboratorio en donde se obtuvo datos de sólidos suspendidos a diferentes tiempos y alturas; valores que servirán para el cálculo de la velocidad y tiempo de sedimentación, así como también el rediseño del sedimentador y el volumen del mismo; permitiendo un análisis entre los sedimentadores actuales de la planta y los valores que deberían tener para que la concentración de sólidos suspendidos llegue con una menor cantidad a la etapa de filtración.

Además el plan se complementa con un análisis de la etapa de filtración y retrolavado de los filtros, volúmenes de agua de lavado y un balance de masa, lo que permitirá el cálculo de la masa de lodo que se acumula en el filtro y el tiempo en el cual debe realizarse el retrolavado en función del caudal de trabajo y la concentración de sólidos suspendidos que ingresan al filtro; abarcando así todo el proceso de clarificación.

El trabajo fue realizado con la colaboración del personal de laboratorio de la Planta de Puengasi; Sistema al cual pertenece la Planta de Potabilizadora de Conocoto la cual procesa agua proveniente de los suministros superficiales de las zonas del río Pita y del Cotopaxi, luego el proceso de clarificación se encarga de retener la mayor cantidad de sólidos suspendidos presentes en el agua cruda, con la ayuda de coagulantes y floculantes para luego ser recogidos mediante las purgas del sedimentador; el agua resultante de este proceso todavía presenta una cantidad de sólidos suspendidos, los cuales son retenidos en los filtros (etapa siguiente). A medida que los sólidos son retenidos en las capas del lecho filtrante, la caída de presión o resistencia al flujo es cada vez mayor y el volumen de agua disminuye y/o la calidad del efluente es reducida.

Para regresar el medio filtrante a su condición original, es necesario remover los sólidos adheridos a la superficie del material granular del filtro. Para esto, se hace fluir agua en forma ascendente, de manera inversa a como fluye el agua durante la filtración, tratando de desprender los sólidos que saturan el material granular del filtro. A esto se le llama retrolavado, y el flujo de agua empleado para retrolavar el filtro, debe ser suficientemente grande para desprender los sólidos retenidos, pero no tan grande como para arrastrar las partículas de arena que son las que se encuentran en la parte inmediatamente superior del filtro.

El estudio tiene una gran importancia en el ámbito ambiental y de optimización en los procesos de una Planta de Tratamiento de Agua. Éste puede aplicarse a otras plantas de agua potable que presenten complicaciones similares; contribuyendo así al continuo crecimiento de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento, EPMAPS.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Agua, definiciones y propiedades

El agua es una sustancia que químicamente se compone de dos átomos de hidrógeno enlazados covalentemente a un átomo de oxígeno. Es esencial para la supervivencia de todas las formas conocidas de vida. El término agua generalmente se refiere a la sustancia en su estado líquido, pero la misma puede hallarse en su forma sólida llamada hielo, y en forma gaseosa denominada vapor. El agua cubre el 71% de la superficie de la corteza terrestre.

Se localiza principalmente en los océanos donde se concentra el 96,5% del agua total, los glaciares y casquetes polares poseen el 1,74%, los depósitos subterráneos (acuíferos), los permafrost y los glaciares continentales suponen el 1,72% y el restante 0,04% se reparte en orden decreciente entre lagos, humedad del suelo, atmósfera, embalses, ríos y seres vivos.

Además de sus propiedades inusuales de calor, el agua tiene propiedades físicas muy diferentes de otros líquidos. Su alta tensión superficial es fácilmente demostrable por el experimento de "flotación" una aguja en la superficie del agua en un vaso. Como está, el agua tiene propiedades fisicoquímicas notables que se detallan a continuación:

- ***El agua es insípida e inodora.*** En condiciones normales de presión y temperatura. El color del agua varía según su estado: como líquido, puede parecer incolora en pequeñas cantidades, aunque en el espectrógrafo se prueba que tiene un ligero tono azul verdoso. El hielo también tiende al azul y en estado gaseoso (vapor de agua) es incolora.
- ***El agua bloquea sólo ligeramente la radiación solar UV fuerte.*** Permitiendo que las plantas acuáticas absorban su energía. Ya que el oxígeno tiene una electronegatividad superior a la del hidrógeno, el agua es una molécula polar. El oxígeno tiene una ligera carga negativa, mientras que los átomos de hidrógenos tienen una carga ligeramente positiva del que resulta un fuerte momento dipolar eléctrico. La interacción entre los diferentes dipolos eléctricos de una molécula causa una atracción en red que explica el elevado índice de tensión superficial del agua.

- ***La fuerza de interacción de la tensión superficial del agua es la fuerza de van der Waals entre moléculas de agua.*** La aparente elasticidad causada por la tensión superficial explica la formación de ondas capilares. A presión constante, el índice de tensión superficial del agua disminuye al aumentar su temperatura. También tiene un alto valor adhesivo gracias a su naturaleza polar.
- ***La capilaridad*** .Se refiere a la tendencia del agua de moverse por un tubo estrecho en contra de la fuerza de la gravedad. Esta propiedad es aprovechada por todas las plantas vasculares, como los árboles.
- ***El agua es un disolvente muy potente.*** Al que se ha catalogado como el disolvente universal, y afecta a muchos tipos de sustancias distintas. Las sustancias que se mezclan y se disuelven bien en agua como las sales, azúcares, ácidos, álcalis, y algunos gases (como el oxígeno o el dióxido de carbono, mediante carbonación) son llamadas hidrófilas, mientras que las que no combinan bien con el agua como lípidos y grasas se denominan sustancias hidrófobas. Todos los componentes principales de las células de proteínas, ADN y polisacáridos se disuelven en agua. Puede formar un azeótropo con muchos otros disolventes.
- ***El agua es miscible con muchos líquidos.*** Como el etanol, y en cualquier proporción, formando un líquido homogéneo. Por otra parte, los aceites son inmiscibles con el agua, y forman capas de variable densidad sobre la superficie del agua. Como cualquier gas, el vapor de agua es miscible completamente con el aire.
- ***El agua pura tiene una conductividad eléctrica relativamente baja.*** Pero ese valor se incrementa significativamente con la disolución de una pequeña cantidad de material iónico, como el cloruro de sodio.
- ***El agua tiene el segundo índice más alto de capacidad calorífica específica*** . Sólo por detrás del amoníaco, así como una elevada entalpía de vaporización ($40,65 \text{ kJ mol}^{-1}$); ambos factores se deben al enlace de hidrógeno entre moléculas. Estas dos inusuales propiedades son las que hacen que el agua "modere" las temperaturas terrestres.
- ***La densidad del agua líquida.*** Es muy estable y varía poco con los cambios de temperatura y presión. A la presión normal (1 atmósfera), el agua líquida tiene una mínima densidad (0,958 kg/l) a los 100 °C.
Al bajar la temperatura, aumenta la densidad (por ejemplo, a 90 °C tiene 0,965 kg/l) y ese aumento es constante hasta llegar a los 3,8 °C donde alcanza una densidad de 1 kg/litro. [1]

1.2 Naturaleza

El primer problema que se plantea a los responsables del abastecimiento público de agua, consiste en la elección de su origen: agua subterránea, tomada a mayor o menor profundidad, agua superficial de ríos o de lagos, o eventualmente, agua de mar. Pero no siempre se tiene esta posibilidad de elección, ya que algunas regiones no disponen de agua subterránea en cantidad o calidad suficiente, dentro de las mismas o a una distancia razonable.

Otras regiones, próximas a las costa, no tienen ni agua subterránea ni agua superficial, por lo necesariamente ha de recurrirse al agua de mar. En cambio, otras poseen importantes recursos superficiales de ríos, por lo que no resulta dudosa su elección.

Cuando existen posibilidades de elección, se debe tomar en cuenta una gama de factores que son de gran importancia.

1.2.1 Calidad de las aguas disponibles. Aguas subterráneas es sinónimo de agua de naturaleza pura, y agua superficial lo es de agua contaminada, en un plazo más o menos largo.

Las aguas subterráneas, cuya temperatura es constante, son en conjunto más atractivas, que las aguas de superficie, expuestas a una contaminación procedente de los vertidos de la vida moderna; y la elección debe efectuarse considerando no sólo los factores conocidos en el momento de la decisión, sino los que puede aportar un futuro próximo.

Sin embargo, las aguas subterráneas raramente se mantienen puras a lo largo de todo el año; es necesario estudiar su evolución, como en el caso de las aguas de superficie, especialmente durante los períodos de fuertes precipitaciones, en los que pueden enturbiarse considerablemente.

La temperatura, con la claridad y el sabor, constituyen el factor más apreciado en un agua potable. Por ello, se prefieren siempre las aguas de origen profundo, cuya temperatura es sensiblemente constante y generalmente fresca a lo largo de todo el año, cosa que no ocurre con las aguas de superficie, cuya temperatura varía normalmente entre 1 y 22°C según las estaciones.

El conocimiento de la variación de la temperatura del agua con el tiempo es tan importante como el conocimiento de la amplitud de esta variación.

El contenido de materias en suspensión, que sólo se juzga parcialmente mediante la determinación de la turbiedad, es una de las características más llamativas.

El color no se tolera en un agua buena para el consumo; tanto las aguas subterráneas como las aguas de superficie se encuentran a veces coloreadas. Las primeras aunque sean incoloras en el momento de la toma, pueden colorearse cuando se oxigenan, adquiriendo coloración amarilla, toja y hasta negra.

El olor y el sabor son, igualmente, características fundamentales para juzgar la calidad de una agua; un agua potable debe estar exenta de olor y sabor y, si no es así, es necesario prever un tratamiento.

Hay que tener en cuenta además la mineralización de las aguas disponibles, generalmente más elevada en las aguas profundas que en las aguas superficiales, mineralización simplemente molesta cuando contenga un exceso de calcio, pero que puede ser nociva cuando el agua contenga un exceso de ciertos iones, como plomo, arsénico, flúor, entre otros.

Los sulfatos y cloruros, medidos por separado o globalmente por el SAF (contenido en sales de ácidos fuertes), definen el carácter más o menos salino de un agua destinada al abastecimiento público. Un contenido excesivo no sólo es nocivo para el hombre, sino que es además origen de corrosiones en las tuberías metálicas.

El hierro y el manganeso no son nocivos por sí mismos, pero deben eliminarse, ya que pueden presentarse graves inconvenientes si se supera los límites impuestos por la legislación; se han visto aguas negras en tuberías de pequeña circulación de una red de agua con un contenido ligeramente superior al de la norma, por esta razón es importante antes de utilizar como coagulantes sales ferrosas o férricas, estudiar bien el problema.

El oxígeno disuelto debe estar presente en cantidad suficiente para que un agua sea agradable para la bebida y para que pueda transportarse sin dar lugar a corrosiones en las tuberías metálicas.

Para concluir esta relación de cualidades y defectos de las aguas que pueden utilizarse para un abastecimiento público, puede decirse que si bien las aguas subterráneas, tomadas a mayor o menor profundidad, ofrecen más seguridad que las aguas superficiales, bajo el punto de vista de la contaminación, presentan, sin embargo, numerosos defectos que con frecuencia se tiende a ignorar.

En efecto, los defectos de las aguas superficiales son, en general, más aparentes que los de las aguas profundas, cuyo tratamiento puede ser, en realidad, mucho más delicado. En el cuadro siguiente se resumen las principales diferencias que presentan los dos tipos de agua. [2]

Tabla 1. Principales diferencias entre aguas superficiales y aguas profundas

Características examinadas	Aguas superficiales	Aguas profundas
Temperatura	Variable según las estaciones del año	Relativamente constante
Turbiedad, materias en suspensión	Variables, a veces elevadas	Bajas o nulas
Mineralización	Variables en función de los terrenos, precipitaciones, vertidos, etc.	Sensiblemente constante, generalmente mayor que en las aguas de superficie de la misma región
Hierro y manganeso divalentes (en estado disuelto)	Generalmente ausentes, salvo en el fondo de cauces de agua en estado de eutrofización	Generalmente presentes
Gas carbónico agresivo	Generalmente ausente	Normalmente presente en gran cantidad
Oxígeno disuelto	Normalmente próximo a saturación	Ausencia total en la mayoría de los casos
Amoníaco	Presente sólo en aguas contaminadas	Presencia frecuente, sin ser un índice sistemático de contaminación
Sulfuro de hidrógeno	Ausente	Normalmente presente
Sílice	Contenido moderado	Contenido normalmente elevado
Nitratos	Poco abundantes en general	Contenido a veces elevado, riesgos de metemoglobinemia
Elementos vivos	Bacterias (algunas de ellas patógenas), virus, plancton	Frecuentes ferrobacterias

1.3 Impurezas y contaminación del agua

El agua tal como la encontramos en la naturaleza no es utilizable directamente para el consumo humano ni para la industria, porque, salvo en raros casos, no es suficientemente pura. A su paso por el suelo, por la superficie de la tierra o incluso a través del aire, el agua se contamina y se carga de materias en suspensión o en solución.

La presencia de esta gran variedad de impurezas exige el tratamiento de las aguas antes de su utilización, para hacerlas aptas para las aplicaciones consideradas.

El tratamiento trae siempre como consecuencia la formación de residuos que, normalmente, no pueden devolverse a la naturaleza en el mismo estado en que se encuentran, sino que deben tratarse ya sea para reducir su volumen o desinfectarlos.

La contaminación del agua tiene esencialmente cuatro orígenes, tres de ellos normales y uno accidental:

Los vertidos de agua usados de origen animal o humano. Las aguas usadas de origen animal influyen con frecuencia en la calidad de los pozos, de los manantiales próximos o de las capas poco profundas y de poca capacidad. Las aguas residuales domésticas contaminan los ríos, por vertidos directos. Estos vertidos aportan una contaminación constituida por materias en suspensión, detergentes, materias orgánicas, fosfatos, bacterias y en algunos casos virus.

Los vertidos de aguas o líquidos residuales industriales, son tan diversos que se encuentran en ellos todos los contaminantes conocidos, radiactivos o no, en una proporción que es función del tratamiento previo.

Las aguas de lluvia o de regadío, que arrastran contaminantes de origen agrícola, abonos, pesticidas, detergentes, etc.

La contaminación accidental producida por un vertido concentrado en materia contaminante, capaz de afectar al agua superficial o a la de capas profundas.

Los numerosos contaminantes y microcontaminantes que pueden encontrarse en un agua destinada al consumo humano se clasifican en tres categorías: contaminantes minerales, contaminantes orgánicos y partículas víricas. [3]

1.3.1 Sólidos en suspensión. Consisten las materias insolubles, orgánicas e inorgánicas, que pueden ser finamente divididas y por lo tanto de difícil sedimentación o de grano grueso que produce rápidamente un sedimento.

Los valores de turbidez varían desde valores de cero en (aguas subterráneas) hasta miles de miligramos por litros en aguas turbias de ríos.

En general los STS son indeseables en aplicaciones industriales, ciertos compuestos en solución o en estado coloidal confieren color a las aguas superficiales.

1.3.2 Turbiedad. Es la condición de un líquido debido al material visible, finamente dividido y en suspensión, que puede o no ser de tamaño suficiente para distinguirlo en partículas aisladas a simple vista; pero que impide el paso de la luz a través del líquido.

Es una medida de la materia suspendida (usualmente coloidal) en los líquidos; se expresa en términos de miligramos por litro de la tierra de diatomeas que causaría el mismo efecto.

1.3.3 Dureza. Es una característica del agua debida principalmente a su contenido de carbonatos y sulfatos, y ocasionalmente los nitratos y cloruros, de calcio, magnesio y hierro que hace que el jabón forme grumos, que se depositen incrustaciones en las calderas y que se produzcan efectos perjudiciales en algunos procesos industriales y a veces produce sabores indeseables al agua.

Generalmente se determina a partir del contenido de calcio y magnesio en el agua y se expresa como carbonato de calcio equivalente.

Dureza total, corresponde a la totalidad de las sales de calcio y magnesio contenidas en el agua (bicarbonatos, sulfatos, cloruros, nitratos, etc.)

Dureza permanente, que expresa la dureza que no puede eliminarse por ebullición y que se debe a cualquier sal de calcio o magnesio excepto carbonatos y bicarbonatos; generalmente sulfatos y cloruros.

Dureza temporal, es la dureza que puede eliminarse por ebullición, constituyen los carbonatos y bicarbonatos de calcio y de magnesio es decir es la diferencia entre la dureza total y la permanente.

1.3.4 Acidez o alcalinidad. La alcalinidad es una medida de los constituyentes básicos (alcalinos) del agua. En las aguas naturales la alcalinidad se presenta en forma de carbonatos y bicarbonatos de calcio, magnesio, sodio y potasio. Dentro de los límites razonables la alcalinidad no tiene importancia sanitaria pero es muy importante en relación con los procesos de coagulación y correctivos del poder corrosivo del agua. La determinación de la alcalinidad es una estimación de los constituyentes de la naturaleza básica del agua. Si todas las bases están presentes como sales de calcio y magnesio, la alcalinidad será igual a la dureza. Si la alcalinidad es mayor que la dureza, esto debe significar que hay otras sales básicas además de las de calcio y magnesio y generalmente se tratará de sales de sodio y potasio. Si la alcalinidad es menor que la dureza, debe haber sales de calcio que no son carbonatos, tratándose usualmente de sulfatos. [4]

1.3.5 Fenoles y derivados. Los fenoles y sus derivados constituyen un índice de contaminación industrial. El problema característico es el sabor a clorofenol que aparece en el agua cuando se añade cloro, aun en el caso de contenidos extraordinariamente pequeños de estos productos, ya que dependen de otros compuestos orgánicos igualmente presentes.

1.3.6 Detergentes. Los detergentes son compuestos tensoactivos sintéticos cuya presencia en el agua se debe a vertidos urbanos e industriales.

Los daños producidos por la presencia de detergentes en el agua son entre los más importantes:

- Formación de espumas, que paralizan los procesos de depuración natural o artificial, concentrando así las impurezas.
- Disminución de la absorción de oxígeno de la atmósfera y de su disolución, aun en ausencia de espuma.
- Aumento del contenido en fosfatos, procedentes de los polifosfatos combinados con los agentes de superficie, que favorece la eutrofización de los lagos y el desarrollo de plancton en los ríos.
- Aumento progresivo del contenido de boro de las aguas superficiales y profundas, procedentes de las grandes cantidades de perborato sódico utilizadas en los detergentes.

1.3.7 Microcontaminantes biológicos. Esta forma de contaminación proviene de los microorganismos y virus aportados por los distintos vertidos que pueden afectar tanto a las aguas de superficie como a las aguas subterráneas. Pueden desarrollarse numerosos organismos (en especial, algas y actinomicetos) en agua de ríos (sobre todo, en los que han recibido una contaminación orgánica o sustancias eutrofizantes), en depósitos o incluso en los sistemas de distribución. [5]

1.4 Agua potable

Se designa con este nombre las aguas que son apropiadas para la alimentación. Deben ser claras, agradables al paladar, inodoras e incoloras. Su ingestión no debe causar perturbaciones en el organismo humano. La temperatura ha de ser sensiblemente constante y mantenerse entre 7° y 18° C. Deben contener no menos de 150 miligramos por litro en materias minerales sin pasar de 500. Se toleran hasta 1000. La presencia de carbonato de calcio es muy deseable por su acción sobre el desarrollo del sistema óseo. También deben encerrar gases disueltos, como por ejemplo, de 6 a 7 centímetros cúbicos de oxígeno por litro, 14 a 15 de nitrógeno y 15 a 18 de ácido carbónico. Estos requisitos son cumplidos a veces por las aguas naturales, que son recogidas directamente. En otros casos se vuelven potables después de un tratamiento que puede consistir, en la clarificación. Descoloración, la reducción de la dureza, la desinfección o la esterilización.

La presencia de otros cuerpos, fuera de los que han sido mencionados anteriormente, no será motivo para invalidar la potabilización de las aguas. Serán reveladas por un minucioso examen físico, químico, microscópico y biológico, y según su cantidad y calidad determinarán el valor de las aguas. [6]

1.5 Procesos principales de potabilización

Las aguas naturales son por su contenido inaptas para el consumo, en su mayoría. Sus caracteres específicos varían con las fuentes originarias como fue detallado en el literal 1.2. El conjunto de los procesos destinados a conferirles las condiciones de potabilidad se titula generalmente por los textos como “Depuración de las aguas”. Ese nombre es impropio para incluir por ejemplo el agregado de sales de iodo exigibles en algunos casos o del gas oxígeno necesario otras veces. Por ello se ha definido como “Potabilización” al conjunto de operaciones que vuelven potables las aguas, o sea aptas para el consumo.

Los objetivos de los distintos tratamientos pueden ser: I Remoción total o parcial de impurezas en suspensión o disolución. II. Cambio de estado de esos cuerpos extraños en condiciones que pierdan su nocividad. III. Agregado de sustancias indispensables para la verdadera potabilidad.

Dentro del enunciado I son de corriente aplicación las siguientes operaciones: Aireación, Sedimentación simple, Sedimentación con el auxilio de coagulantes, Filtración lenta o rápida; para la eliminación de sustancias en suspensión.

Dentro del enunciado II quedan comprendidos los siguientes procesos: Desinfección de las aguas o destrucción de los microorganismos nocivos por el uso de desinfectantes inofensivos como el cloro, hipocloritos de calcio y sodio, ozono, sulfato de cobre.

Esterilización o destrucción total de la vida microbiana con rayos ultravioletas o por la acción del calor.

Cambio de las bases de algunas sales. Los sulfatos de calcio y magnesio se convierten, por ejemplo, en sulfatos de sodio, que son más tolerables, por el agregado de carbonato de sodio.

El enunciado III da lugar a: Oxigenación, o sea agregado de oxígeno por medio de la aspersión o inyección de aire comprimido u ozono, pues las aguas pobres en ese gas, son de sabor crudo y desagradable.

En la práctica de los grandes servicios de abastecimiento, es necesario por lo común aplicar dos de esos tratamientos, pero en algunos casos se llega hasta cinco. Así las aguas que provienen de los embalses en montañas o de grandes lagos, se clarifican por su larga sedimentación y por lo común sólo requieren una desinfección. Las que provienen de ríos de mayor o menor turbidez necesitan sedimentación con o sin el auxilio de coagulantes, filtración y desinfección. Las aguas subterráneas contienen en general sustancias disueltas que exigen un tratamiento químico, seguido de filtración y a veces de desinfección.

Algunos de esos tratamientos rinden no sólo el objetivo buscado sino que aportan efectos secundarios de importancia. Una larga sedimentación no sólo clarifica las aguas, depositando las materias por gravitación. También eliminan en gran parte el contenido de bacterias, por arrastre y blanquea los colorantes por efecto de los rayos solares. La filtración, por ejemplo, no sólo corrige la turbidez, retiene también la mayoría de las bacterias, blanquea las aguas, absorbe una buena parte de las sustancias en disolución y nitrifica las que son orgánicas. [7]

1.6 Clarificación del agua

El proceso de clarificación tiene como objetivo la eliminación de sustancias en suspensión, sustancias disueltas y la supresión de la flora microbiana, además de la posible corrección de algunas características fisicoquímicas.

El proceso de clarificación incluye las siguientes etapas: coagulación, floculación, decantación y filtración.

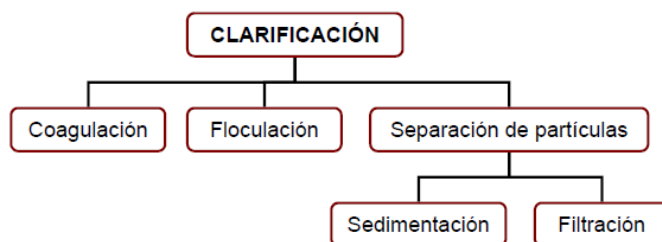


Figura 1. Proceso de clarificación.

1.6.1 Suspensiones coloidales. Se denominan suspensiones coloidales (o coloides) a los sistemas físico-químicos estables formados por dos fases: una continua, normalmente fluida, y otra dispersa (en menor proporción) en forma de partículas, por lo general sólidas.

La teoría de la estabilidad de los coloides se conoce como la teoría de la doble capa eléctrica, debido a como se modela la superficie intermedia entre la partícula coloidal y el seno del líquido. Parte de la base de que las cargas superficiales de la partícula coloidal atraen iones de carga opuesta, estableciéndose un estado de carga neutra entre la partícula y su alrededor inmediato. En esta zona de carga neutra, el continuo movimiento de las moléculas de agua impone la existencia de una capa difusa de cargas eléctricas que se extienden hacia el seno del agua.

Aparecen así varias zonas que denominaremos:

- Capa superficial del coloide (carga negativa), donde existe un potencial eléctrico denominado Potencial de Nernst.
- Capa de Stern, constituida por cargas de signo positivo, atraídas fuertemente por la superficie coloidal, donde el potencial eléctrico se denomina potencial de Stern.
- Capa difusa de Gouy-Chapman, constituida por el resto de iones móviles, hasta la superficie neutra del líquido.

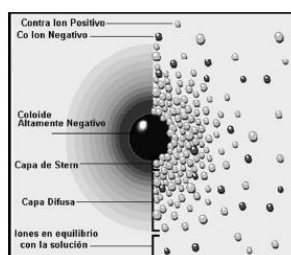


Figura 2. Cargas superficiales de la partícula coloidal

1.6.2 Potencial zeta. Evidentemente, la partícula coloidal cargada tiene un cierto potencial eléctrico con respecto a la solución neutra en la que se halla, potencial que decrece hasta una distancia suficiente para que los efectos de la carga sean inapreciables. El valor de la diferencia de potencial entre el límite de solución rígidamente unida a la partícula y la masa del líquido se denomina potencial Zeta.

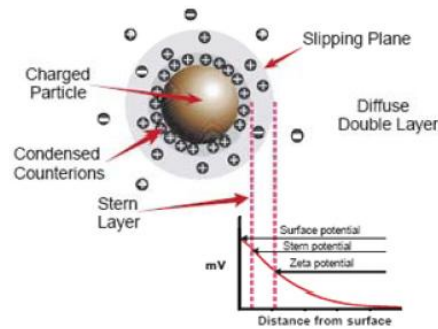


Figura 3. Potencial zeta

La existencia del doble capa es lo que impide la aproximación de las partículas a una distancia suficiente como para que las fuerzas atractivas de Van der Waals entren en acción y agrupen los coloides.

Unido a ello aparece el fenómeno de la repulsión electrostática entre cargas de igual signo, de modo que todo ello fortalece la estabilidad del sistema.

El conseguir la formación de agregados de partículas o flóculos dependerá de la capacidad de ruptura de la estabilidad de los coloides, o dicho de otro modo, será función de la posibilidad de reducir el potencial Zeta existente entre partícula y la capa límite que define la zona de movilidad iónica.

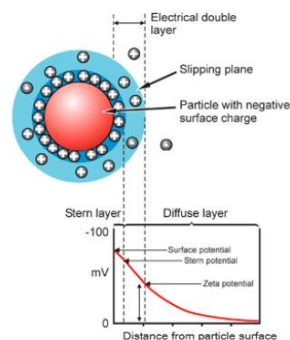


Figura 4. Formación de agregados de partículas o flóculos.

Las partículas coloidales están en constante movimiento y se producen colisiones de las que se desprende energía. Cuantas más colisiones se produzcan, mayor será la posibilidad de agregación; a pesar de ello, no se generará un número suficiente de uniones fruto de la colisión, si no existe una previa desestabilización del equilibrio coloidal. Pueden aumentarse las colisiones entre partículas, estableciendo flujos hidráulicos, recurriendo a la creación de zonas de mezcla rápida o zonas de gran turbulencia, variando las condiciones de agitación.

Entre las distintas moléculas, existe una fuerza cohesiva atómica, resultante de la atracción entre todos los átomos, pues en un conjunto cada uno atrae al resto. Esta es la fuerza de Van der Waals, y el efecto agregador sólo tiene lugar cuando las fuerzas atractivas superen a las electrostáticas de repulsión. Por último, y en menor escala, existe la fuerza gravitacional, la cual decantará las partículas presentes en el agua. [8]

1.6.3 Coagulación. La pequeña dimensión de las partículas coloidales presentes en un agua, así como la existencia de cargas negativas repartidas en su superficie, dan lugar a una gran estabilidad de las suspensiones coloidales.

En el campo del tratamiento de aguas, la coagulación se denomina, al proceso de desestabilización y posterior agregación de partículas en suspensión coloidal presentes en el agua, para potenciar la etapa de decantación o espesado en la que esas partículas deben separarse del agua. La desestabilización se consigue neutralizando sus cargas eléctricas, con lo que dejan de actuar las fuerzas de repulsión, su potencial Zeta se anula y los coloides tienden a agregarse por acción de masas. [9]

El objetivo de la coagulación como proceso previo a la decantación es cambiar las propiedades de los elementos insolubles, de modo que sean más fácilmente separables. Como es mucho más sencillo separar partículas grandes y pesadas que partículas ligeras y de poca superficie específica, el proceso de coagulación tenderá a agrupar partículas pequeñas en otras mayores, y por tanto más sólidas, que se denominará flóculos, para así separarlas más fácilmente.

Se llaman coagulantes a los productos utilizados para esta desestabilización. Estos agentes químicos, inofensivos introducidos en cantidades ínfimas en las aguas naturales que contengan compuestos alcalinos, provocan reacciones que se convierten en precipitados insolubles. Estos forman una red finísima con canales capilares y aprisionan no sólo la arcilla coloidal y las bacterias, sino también las materias húmicas disueltas, dándose a ese proceso el nombre de adsorción. Luego la malla se resquebraja replegándose en coágulos o flóculos que son de fácil eliminación por simple sedimentación, o completada con filtración. [10]

1.6.3.1 Factores que influyen en el proceso. La coagulación consiste en introducir en el agua un producto capaz de neutralizar la carga de los coloides, generalmente electronegativos presentes en el agua.

1.6.3.1.1 Tipo y cantidad de coagulante. Aunque hay una cierta relación entre la turbidez del agua bruta y la dosis de coagulante, la cantidad exacta se debe determinar mediante ensayos (JarTest) para evitar sobredosificaciones que rompan la adsorción superficial.

La cantidad del coagulante a utilizar tiene influencia directa en la eficiencia de la coagulación, así:

- Poca cantidad del coagulante, no neutraliza totalmente la carga de la partícula, la formación de los microfloculos es muy escaso, por lo tanto la turbiedad residual es elevada.
- Alta cantidad de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula, conduce a la formación de gran cantidad de microfloculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación muy bajas, por lo tanto la turbiedad residual es igualmente elevada.

1.6.3.1.2 pH del agua. Para cada coagulante, existe una zona de *pH* donde se produce una buena floculación en plazo corto y con una dosis dada de coagulante, debiéndose efectuar, siempre que sea posible, en esa zona para optimizar productos y rendimientos.

El pH es la variable más importante a tener en cuenta al momento de la coagulación, para cada agua existe un rango de pH óptimo para la cual la coagulación tiene lugar rápidamente, ello depende de la naturaleza de los iones y de la alcalinidad del agua.

El rango de pH es función del tipo de coagulante a ser utilizado y de la naturaleza del agua a tratar; si la coagulación se realiza fuera del rango de pH óptimo entonces se debe aumentar la cantidad del coagulante; por lo tanto la dosis requerida es alta.

1.6.3.1.3 Tiempo de mezcla y floculación. Es el tiempo transcurrido entre la adición de coagulante y el final de la agitación a una velocidad que impida la decantación de las materias floculadas.

1.6.3.1.4 Influencia de las sales disueltas. Las sales contenidas dentro del agua ejercen las influencias siguientes sobre la coagulación y floculación:

- Modificación del rango de pH óptimo.
- Modificación del tiempo requerido para la floculación.
- Modificación de la cantidad de coagulantes requeridos.

1.6.3.1.5 Temperatura del agua. La temperatura influye en el tiempo requerido para una buena formación de coágulos, (más fría, más tiempo). La variación de 1°C en la temperatura del agua conduce a la formación de corrientes de densidad (variación de la densidad del agua) de diferentes grados que afectan a la energía cinética de las partículas en suspensión, por lo que la coagulación se hace más lenta; temperaturas muy elevadas desfavorecen igualmente a la coagulación. Una disminución de la temperatura del agua en una unidad de decantación conlleva a un aumento de su viscosidad; esto explica las dificultades de la sedimentación de un floc.

1.6.3.1.6 Agitación y presencia de núcleos. Es la mezcla, durante la cual el coagulante disuelto se dispersa rápidamente en el agua mediante fuerte agitación, seguido de una agitación a velocidad más baja durante un tiempo que será más prolongado que en las condiciones iniciales.

1.6.3.1.7 Influencia de la turbiedad. Es una forma indirecta de medir la concentración de las partículas suspendidas en un líquido; mide el efecto de la dispersión que estas partículas presentan al paso de la luz; y es función del número, tamaño y forma de partículas. La turbiedad del agua superficial es gran parte debido a partículas de lodos de sílice de diámetros que varían entre 0.2 a 5 μm . La coagulación de estas partículas es muy fácil de realizar cuando el pH se mantiene dentro del rango óptimo. La variación de la concentración de las partículas permite hacer las siguientes predicciones:

- Para cada turbiedad existe una cantidad de coagulante, con el que se obtiene la turbiedad residual más baja, que corresponde a la dosis óptima.
- Cuando la turbiedad aumenta se debe adicionar la cantidad de coagulante no es mucho debido a que la probabilidad de colisión entre las partículas es muy elevada; por lo que la coagulación se realiza con facilidad; por el contrario cuando la turbiedad es baja la coagulación se realiza muy difícilmente, y la cantidad del coagulante es igual o mayor que si la turbiedad fuese alta.
- Cuando la turbiedad es muy alta, conviene realizar una presedimentación natural o forzada, en este caso con el empleo de un polímero aniónico.
- Es siempre más fácil coagular las aguas de baja turbiedad y aquellas contaminadas por desagües domésticos industriales, porque requieren mayor cantidad de coagulante que los no contaminados. [11]

1.6.3.2 Condición óptima. El grado de acidez o alcalinidad del agua a tratar o sea su pH tiene marcada influencia sobre el proceso de coagulación. Se ha observado que para cada tipo de agua existe un valor de pH en que éste da el mejor resultado, conociéndose éste como punto óptimo, el que fluctúa desde 5 a 7.4 pH dependiendo del tipo de coagulante que se esté utilizando.

Este puede alcanzarse con agregados químicos adecuados, puesto que el pH de las aguas naturales es de 6 a 8. La dosis del coagulante depende del estado de turbidez, de la alcalinidad, de las materias disueltas y de la coloración del agua. Varía en la práctica de 4 a 45 centigramos por litro de agua y la acción de los coagulantes se acelera mediante una buena dispersión en las aguas y por agitación mecánica. [12]

1.6.3.3 Mecanismos de funcionamiento. La reacción de los compuestos coagulantes con el agua implica:

- Desestabilización de las partículas coloidales por compresión de la capa doble, debido al aumento de concentración de especies iónicas
- Desestabilización coloidal por reducción del potencial Zeta, debida a la adsorción en la superficie coloidal de las especies iónicas polinucleares positivas
- Coagulación o aglomeración por arrastre de partículas

En la práctica, los procesos de coagulación combinan los tres mecanismos descritos y, según las condiciones externas (pH, temperatura, tipo de coagulante, etc.) predominará un mecanismo sobre los otros.

Por ejemplo, a bajo *pH* y bajas dosificaciones de coagulante, predomina el mecanismo de adsorción (caso 2) y de desestabilización (caso 1), mientras que a *pH* altos y altas dosificaciones de coagulante predomina el mecanismo de arrastre (caso3). [13]

1.6.3.4 Dosificación. La dosificación de coagulante es muy variable en los diferentes ámbitos, siendo necesario establecer un valor óptimo mediante pruebas de laboratorio y ajustes de fábrica. Dentro de las pruebas de laboratorio, destaca el ensayo *Jar-Test*. La importancia del ensayo deriva de su facilidad de realización, interpretación y versatilidad al estudiar diferentes parámetros que influyen en el proceso de coagulación – floculación, determinando:

- Selección de coagulantes y/o floculantes
- Dosificación óptima
- Determinación de los puntos de dosificación
- Fijación de un *pH* óptimo de coagulación
- Ajuste de velocidades y tiempos de agitación
- Incidencia de otros reactivos. [14]

1.6.3.5 Mezcla de los reactivos. Teniendo en cuenta que la neutralización de los coloides es el principal objetivo que se pretende en el momento de la introducción del coagulante, es conveniente que el reactivo utilizado se difunda con la mayor rapidez posible.

En efecto, el tiempo de coagulación es extraordinariamente breve (inferior al segundo) y la utilización óptima del coagulante exige que la neutralización de los coloides sea total antes de que una parte del coagulante haya comenzado a precipitar (por ejemplo, en forma de hidróxido metálico).

Para la mezcla de los reactivos, se utiliza a veces únicamente la turbulencia creada por un vertedero, pero conviene disponer de un sistema que permita esta mezcla rápida, sistema denominado mezclador rápido o coagulador, y que sea capaz de crear un gradiente de velocidad comprendido entre 100 y 1000 s⁻¹. Se distingue varios tipos de mezcladores:

- **Mezcladores estáticos.** Se trata de dispositivos colocados en el interior de una tubería (sistema helicoidal, diafragma) que crean una turbulencia suficiente para permitir la difusión instantánea del coagulante. Estos mezcladores producen una pérdida de carga a veces importante. Son muy eficaces al caudal nominal, pero su eficacia decrece cuando disminuye el caudal que pasa por la tubería.
- **Mezcladores rápidos.** Se trata de un agitador rápido del tipo de hélice o de palas (turbina), colocado en una cámara de mezcla especial. [15]

1.6.3.6 Principales coagulantes. Los coagulantes principales utilizados son sales de aluminio o de hierro. En algunos casos, pueden utilizarse igualmente productos de síntesis, tales como los polielectrólitos catiónicos.

La sal metálica actúa sobre los coloides del agua por medio del catión, que neutraliza las cargas negativas antes de precipitar.

Al polielectrólito catiónico se le llama así porque lleva cargas positivas que neutralizan directamente los coloides negativos. Los polielectrólitos catiónicos se emplean generalmente junto con una sal metálica, en cuyo caso permiten una importante reducción de la dosis de dicha sal que habría sido preciso utilizar. Puede llegarse incluso a suprimir completamente la sal metálica, con lo que se consigue reducir notablemente el volumen de lodo producido. [16]

1.6.3.6.1 Sales de aluminio.

- **Sulfato de aluminio.** Se utiliza en forma sólida o líquida. La forma sólida se presenta en placas compactas, en forma granulada de diversos tamaños, o en polvo, de fórmula teórica $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$. Este producto se define, en general, por su contenido en alúmina, expresada en Al_2O_3 , es decir, un 17% aproximadamente. La masa volúmica aparente del sulfato de aluminio en polvo es del orden de 1000kg/m^3 .

La forma líquida se define, lo mismo que la forma sólida, por su contenido en alúmina Al_2O_3 ; esta concentración se sitúa, generalmente entre 8 y 8,5% es decir 48 a 49% en equivalente polvo, o también 630 a 650g de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ por litro de solución acuosa.

El sulfato de aluminio está constituido por la sal de una base débil (hidróxido de aluminio) y de un ácido fuerte (ácido sulfúrico), por lo que sus soluciones acuosas son muy ácidas.

- **Policloruro básico de aluminio (P.C.B.A).** En ciertas condiciones, las sales de aluminio pueden condensarse, llegando a la formación de polímeros capaces de coagular y flocular. Se forma así el Policloruro básico de aluminio, que es un coagulante preparado por neutralización progresiva del cloruro de aluminio con sosa. Durante la neutralización, se forman polímeros de aluminio, de manera homogénea.

El cloruro de aluminio AlCl_3 se presenta en forma sólida o líquida, utilizándose preferentemente esta última (masa volúmica 1.29 kg/dm^3 ; contenido en Al_2O_3 : 11.4%).

Debido a la acidez de la solución, es necesario utilizar materiales plásticos para su preparación y distribución. Preparado de forma discontinua, el P.C.B.A. no se conserva, por lo que debe utilizarse rápidamente.

1.6.3.6.2 Sales de hierro.

- **Cloruro férrico FeCl_3 .** El cloruro férrico se presenta en forma sólida o en forma líquida, siendo esta última la más utilizada. La forma sólida tiene el aspecto de una masa cristalina, de color amarillo marrón, de fórmula teórica $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; debe preservarse del calor, puesto que se funde en su agua de cristalización a 34°C .

La forma líquida comercial tiene un contenido aproximado del 40% de FeCl_3 puro. Para evitar toda confusión entre los contenidos de producto puro o de producto comercial, es preferible expresar la dosis de coagulante en Fe equivalente, es decir 20.5% para la forma sólida y 14% aproximadamente, para la solución acuosa comercial.

- **Sulfato ferroso $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.** El sulfato ferroso se presenta en forma de polvo de color verde, de masa volúmica aparente próxima a 900kg/m^3 . Es una sal perfectamente soluble en agua; la preparación de la solución acuosa se efectúa sin dificultad.

Su contenido en hierro es, aproximadamente, del 19%. El pH de la solución al 10% es de 2.8 aproximadamente. Por lo tanto, deben protegerse las cubas de almacenamiento y los depósitos metálicos de preparación y de distribución, o bien deben preverse de materiales plásticos.

- **Sulfato férrico $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$.** Se presenta en forma de polvo blanco, muy soluble en agua, y de masa volúmica aparente 1000kg/m^3 . En solución acuosa se hidroliza, con formación de ácido sulfúrico. Como en el caso del sulfato ferroso, deben prevenirse los efectos de su acidez.
- **Clorosulfato férrico FeClSO_4 .** Se presenta en solución concentrada, de color marrón rojizo oscuro, de masa volúmica 1500kg/m^3 , aproximadamente. La forma líquida comercial tiene un contenido aproximado del 13 al 14% de hierro, es decir, unos 200kg/m^3 . Esta solución es ácida (370kg/m^3 de SO_4^{2-} y 125kg/m^3 de Cl^-), por lo que, como en el caso del sulfato ferroso, es necesario proteger las cubas de almacenamiento, los depósitos de preparación y de distribución metálicos, o preverlos de materiales plásticos. [17]

1.6.3.7 Elección del coagulante. La elección del coagulante se efectuará después de un estudio del agua en laboratorio, mediante la técnica de ensayos de floculación.

En esta elección deben tenerse en cuenta diversos factores:

- Naturaleza y calidad del agua bruta.
- Variación de la calidad del agua bruta (variaciones diarias o según las estaciones, en especial, influencia de la temperatura).
- Criterios de calidad y destino del agua tratada.
- Tratamiento previsto después de la coagulación (coagulación sobre filtro, decantación)
- Grado de pureza del reactivo, especialmente de aguas para abastecimiento público. [18]

1.6.4 Floculación. El coagulante introducido da la formación del flóculo, pero es necesario aumentar su volumen, su peso y sobre todo su cohesión. Se favorecerá el engrosamiento del flóculo por medio de los floculantes, llamados también ayudantes de coagulación.

Esta segunda etapa de mezcla que corresponde a una mezcla lenta tiene por objeto permitir los contactos entre los flóculos, la turbiedad y el color, la mezcla debe ser lo suficiente para crear diferencias de velocidad del agua dentro de la unidad pero no muy grande, ya que los flóculos corren el riesgo de romperse; aún si el tiempo es no más del tiempo óptimo de floculación. [19]

La floculación es la aglomeración de partículas desestabilizadas en microflóculos y después en los flóculos más grandes que tienden a depositarse en el fondo de los recipientes construidos para este fin, denominados decantadores. El proceso de floculación es precedido por el de coagulación, por eso suele hablarse de procesos de coagulación - floculación.

La coagulación es la desestabilización de las partículas coloidales causadas por la adición de un reactivo químico (coagulante) que, neutralizando las cargas electrostáticas, hace que las partículas tiendan a unirse entre sí. En el proceso de floculación es importante conseguir la formación del flóculo de mayor peso y cohesión posible, ya que estas características facilitan su eliminación.

En general, algunos de los siguientes medios favorecen el engrosamiento y, consecuentemente, la sedimentabilidad del flóculo:

- Una coagulación previa tan perfecta como sea posible
- Un aumento de la cantidad de flóculos en el agua.

Así, conviene poner el agua en contacto con los precipitados ya formados por el tratamiento anterior (recirculación de fangos, lecho de fangos, etc.), tratando de conseguir la mayor concentración posible.

- Una agitación lenta y homogénea del conjunto, con el fin de aumentar las posibilidades de que las partículas coloidales descargadas eléctricamente se encuentren con un flóculo.
- El empleo de ciertos productos llamados floculantes.

Los floculantes (o coadyuvantes de coagulación) son productos que favorecen el proceso de formación del flóculo, actuando de puente o unión para captar mecánicamente las partículas en suspensión. [20]

1.6.4.1 Tipos de floculación. Hay 2 tipos de floculación.

1.6.4.1.1 Floculación pericinética. Está producido por el movimiento natural de las moléculas del agua y esta inducida por la energía térmica, este movimiento es conocido como el movimiento browniano.

1.6.4.1.2 Floculación ortocinética. Se basa en las colisiones de las partículas debido al movimiento del agua, el que es inducido por una energía exterior a la masa de agua y que puede ser de origen mecánico o hidráulico.

Después que el agua es coagulada es necesario que se produzca la aglomeración de los microflóculos; para que esto suceda se produce primero la floculación pericinética luego se produce la floculación ortocinética.

1.6.4.2 Parámetros de la floculación. Los parámetros que caracterizan la floculación son los siguientes:

- Floculación Ortocinética (Se da por el grado de agitación proporcionada: Mecánica o Hidráulica).
- Gradiente de Velocidad (energía necesaria para producir la mezcla).
- Número de colisiones (choque entre microflóculos).
- Tiempo de retención (tiempo que permanece el agua en la unidad de floculación).
- Densidad y tamaño de floc.
- Volumen de lodos

1.6.4.3 Floculantes. Los floculantes son polímeros o polielectrólitos con pesos moleculares muy elevados, moléculas orgánicas solubles en agua formadas por bloques denominados monómeros, repetidos en cadenas larga. Estos floculantes pueden ser de naturaleza: mineral, orgánico natural y orgánico de síntesis.

1.6.4.3.1 Floculantes minerales. Se encuentra la sílice activada, fue el primer floculante que se empleó y sigue siendo en la actualidad, que debe ser preparado antes de emplear, su preparación es tan delicada y presenta el riesgo de la gelatinización; produce la neutralización parcial de la alcalinidad de silicato de sodio en solución.

1.6.4.3.2 Floculantes orgánicos naturales. Son polímeros naturales extraídos de sustancias animales o vegetales. Algunos se fabrican a partir de productos naturales: alginatos (extractos de algas), almidones (extractos de granos vegetales), derivados de la celulosa, ciertas gomas, etc. Las alginatos se utilizan especialmente como ayudantes de floculación de las sales férricas, aunque a veces, también presentan buenos resultados con sales de aluminio. Se obtienen a partir del ácido algínico, el cual se extrae de las plantas marinas (en especial, del género *Laminaria*). Su empleo en el campo de aguas de abastecimiento público, está autorizado en todos los países.

1.6.4.3.3 Floculantes orgánicos de síntesis. Son los más utilizados y son macromoléculas de una gran cadena, obtenidos por asociación de monómeros sintéticos con masa molecular elevada de 106 a 107 gr/mol, estos se clasifican de acuerdo a la ionicidad de los polímeros:

- **Aniónicos (generalmente copolímeros de la acrilamida y del ácido acrílico).** La dosis óptima aumenta linealmente con la dosificación de sulfato de alúmina, pero no se modifica el margen de *pH* óptimo para la coagulación y por esto su acción es independiente de la acidez o alcalinidad.
- **Neutros o no iónicos (poliacrilamidas).** De tipo no iónico en solución acuosa a *pH* neutro.
- **Catiónicos (copolímeros de acrilamidas + un monómero catiónico).** Cuando se utilizan con coagulantes metálicos reducen la dosificación de coagulante, atenúan la interferencia sobre la coagulación de ciertas sustancias y tienen la capacidad de flocular organismos vivos, tales como algas y bacterias. [21]

1.6.4.4 Factores que afectan a la floculación. La floculación está condicionada por una serie de factores que determinan su eficacia en el proceso de separación de la fase sólido/líquido.

1.6.4.4.1 Dosis óptima de polímero. Para una cierta concentración de sólidos, todo polímero añadido es adsorbido sobre los mismos. El punto a partir del cual el polímero no es totalmente adsorbido corresponde a la dosis óptima, que será la cantidad máxima de polímero que puede ser adsorbido sobre el sólido para producir un sistema floculado, a condición de que ningún enlace de superficie sea roto después de la formación de los flóculos. A medida que se desarrolla la floculación, la formación de flóculos disminuye la superficie disponible, y el número de colisiones entre las partículas se hace inferior.

1.6.4.4.2 Agitación. Una adecuada agitación es necesaria tanto en el momento de dosificación del polímero como en el proceso de formación y engorde del flóculo. La dispersión del polímero en el seno del agua exige una rápida agitación para favorecer una floculación homogénea en todos los puntos y crear un tamaño de flóculo igualmente homogéneo. La agitación rápida favorece además, un mayor número de colisiones entre las partículas y las cadenas de polímeros asegurando la floculación total de los coágulos.

Una vez iniciada la floculación, conviene reducir la velocidad de agitación para evitar efectos de cizalladura que produzcan la rotura mecánica de los flóculos. De cualquier modo, es necesario siempre un óptimo estado de agitación para lograr que las partículas se acerquen lo suficiente para formar puentes de enlace y formar los agregados.

1.6.4.4.3 Peso molecular del polímero. El peso molecular es una de las propiedades que caracterizan a un polímero y determinan la eficacia de la floculación. Cuando se utiliza un polímero de bajo peso molecular existe una tendencia por parte de cada molécula a ser adsorbida por una única partícula. Con un polímero del mismo tipo pero de mayor peso molecular se produce un aumento en la relación óptima polímero/sólidos es decir, mayor número de moléculas pueden ser adsorbidas y utilizadas por las partículas. Con un aumento del peso molecular se optimiza la dosis de polímero y se incrementa la velocidad de decantación.

1.6.4.4.4 Concentración de sólidos. La estabilidad de los flóculos crece con la densidad de los sólidos, debido al aumento de la probabilidad de unión de los fragmentos de los flóculos rotos. No obstante, para suspensiones muy concentradas, la velocidad de sedimentación es muy pequeña por la corriente ascendente del fluido desalojado, generándose un equilibrio entre ambos fenómenos.

1.6.4.4.5 Superficie de los sólidos. La dosis óptima de floculante es proporcional a la superficie específica del sólido; es decir, al aumentar de tamaño o superficie de la partícula se reduce la dosis de floculante.

1.6.4.4.6 Efectos de la temperatura. Existe la creencia general de que un aumento de temperatura mejora la floculación. Esto no siempre es así, ya que si bien la velocidad de difusión del floculante y de colisión de partículas es mayor, la adsorción es menor por ser exotérmica.

1.6.4.4.7 Efecto del pH. El pH puede afectar a la cantidad y tipo de cargas presentes en la superficie de los sólidos así como la cantidad de carga libre que configura el polímero en disolución.

A su vez, la variación en la ionización en el polímero determina el grado de creación de puntos de enlace entre partículas y moléculas lo cual puede anular la eficacia de un polímero en un rango de pH. La efectividad de los polímeros varía en función del rango del pH:

- Los polímeros aniónicos, normalmente, son más efectivos a pH entre 7 y 14.
- Los no iónicos son capaces de adsorber las partículas positivas y negativas, siendo, en general, muy eficaces a pH 6, si bien algunos también operan entre 6 y 10.
- Finalmente los catiónicos suele actuar entre pH 4 y 8. [22]

1.6.5 Sedimentación. Se entiende por sedimentación a la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el agua. Estas partículas deberán tener un peso específico mayor que el fluido. La remoción de partículas en suspensión en el agua puede conseguirse por sedimentación o filtración. De allí que ambos procesos se consideren como complementarios.

La sedimentación remueve las partículas más densas, mientras que la filtración remueve aquellas partículas que tienen una densidad muy cercana a la del agua o que han sido resuspendidas y por lo tanto, no pudieron ser removidas en el proceso anterior.

La sedimentación es, en esencia, un fenómeno netamente físico y constituye uno de los procesos utilizados en el tratamiento del agua para conseguir su clarificación. Está relacionada exclusivamente con las propiedades de caída de las partículas en el agua. Cuando se produce sedimentación de una suspensión de partículas, el resultado final será siempre un fluido clarificado y una suspensión más concentrada. A menudo se utilizan para designar la sedimentación los términos de clarificación y espesamiento. Se habla de clarificación cuando hay un especial interés en el fluido clarificado, y de espesamiento cuando el interés está puesto en la suspensión concentrada.

1.6.5.1 Tipos de sedimentación. Las partículas en suspensión sedimentan en diferente forma, dependiendo de las características de las partículas, así como de su concentración. Es así que podemos referirnos a la sedimentación de partículas discretas, sedimentación de partículas floculentas y sedimentación de partículas por caída libre e interferida.

1.6.5.1.1 Sedimentación de partículas discretas. Se llama partículas discretas a aquellas partículas que no cambian de características (forma, tamaño, densidad) durante la caída.

Se denomina sedimentación o sedimentación simple al proceso de depósito de partículas discretas. Este tipo de partículas y esta forma de sedimentación se presentan en los desarenadores, en los sedimentadores y en los presedimentadores como paso previo a la coagulación en las plantas de filtración rápida y también en sedimentadores como paso previo a la filtración lenta.

1.6.5.1.2 Sedimentación de partículas floculentas. Partículas floculentas son aquellas producidas por la aglomeración de partículas coloides desestabilizadas a consecuencia de la aplicación de agentes químicos. A diferencia de las partículas discretas, las características de este tipo de partículas, forma, tamaño y densidad sí cambian durante la caída.

Se denomina sedimentación floculenta o decantación al proceso de depósito de partículas floculentas. Este tipo de sedimentación se presenta en la clarificación de aguas, como proceso intermedio entre la coagulación-floculación y la filtración rápida.

La velocidad de sedimentación de suspensiones floculentas depende de las características de las suspensiones, así como de las características hidráulicas de los sedimentadores y de la presentación de procesos concomitantes: floculación por diferencia de velocidades de sedimentación de los flóculos, influencia de turbulencia y variación de gradientes de velocidad, factores que imposibilitan la preparación de un modelo matemático general. Por este motivo se recurre a ensayos en laboratorio o plantas piloto con el propósito de predecir las eficiencias teóricas remocionales en función de cargas superficiales o velocidades de sedimentación preseleccionadas.

- **Sedimentación de partículas floculentas con caída libre.** Si en una suspensión tenemos una concentración (1- C) de partículas que tienen una velocidad de sedimentación V_S , la proporción adicional de partículas removidas que tiene una velocidad de sedimentación V_S será:

$$R = \frac{1}{V_S} \int_0^{C_0} V \cdot dc \quad (1)$$

La Remoción total R_T será:

$$R_T = (1 - C) + \frac{1}{V_s} \int_0^{C_0} V \cdot dc \quad (2)$$

El segundo término de la ecuación se determina experimentalmente mediante columnas de sedimentación.

Se determinan las concentraciones del material en suspensión (C) cada cierto tiempo (t) y para una profundidad específica (h). Conociendo la concentración inicial (C_0) y la velocidad de sedimentación $V_s = h/t$, es posible obtener la eficiencia remocional.

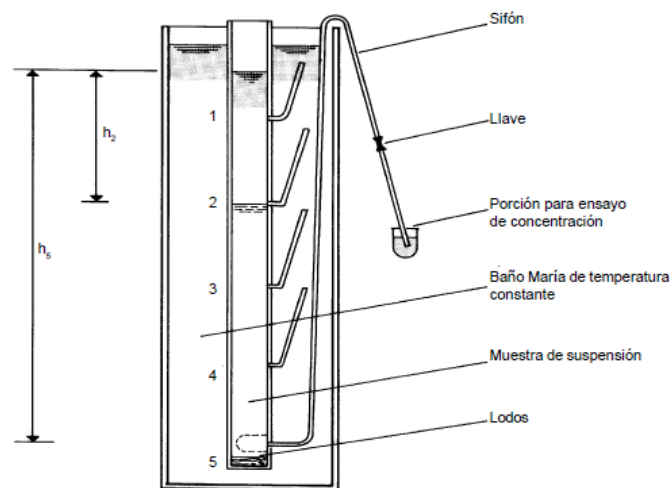


Figura 5. Equipo de laboratorio para ensayos de sedimentación.

Al graficar estos parámetros, se establece la curva teórica de velocidad de sedimentación *versus* eficiencia

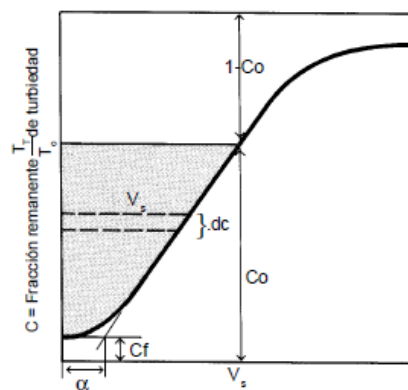


Figura 6. Curva de variación de eficiencia en función de la velocidad de sedimentación

En la figura anterior, es importante observar lo siguiente:

La curva no pasa por el origen. Esto implica que siempre se tendrá una fracción C_f de partículas que no serán removidas por el sedimentador aun cuando se apliquen velocidades muy bajas de sedimentación. Esto implica, en la práctica, la necesidad de contar con una unidad posterior al sedimentador que sea capaz de remover estas partículas. En una planta de tratamiento de agua esta unidad es el filtro.

Otra característica de esta curva es la tendencia asintótica cuando esta se aproxima al eje de las ordenadas. Esta tendencia permite definir una velocidad de sedimentación mínima para aplicaciones prácticas de diseño. No tendrá ningún sentido práctico seleccionar velocidades de sedimentación menores a este valor mínimo, ya que se incrementaría el área de la unidad y no se conseguiría mayor eficiencia de remoción.

- **Sedimentación de partículas floculentas con caída interferida.** Cuando se tiene concentraciones bajas de partículas, estas sedimentan o decantan libremente; en cambio, con un alta concentración de partículas floculentas (superiores a 500 mg/L), las partículas se encuentran a distancias tan reducidas que se adhieren entre sí y sedimentan masivamente. Así, se crea una clara superficie de separación entre los flóculos y el líquido que sobrenada y esto da origen al fenómeno de sedimentación conocido con los nombres de decantación interferida o zonal.

Klinck establece las hipótesis fundamentales para la decantación interferida, en la cual la velocidad de caída de una partícula depende principalmente de la concentración de las partículas.

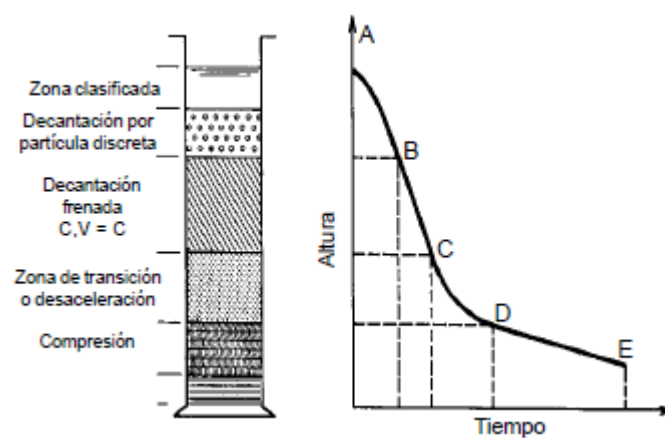


Figura 7. Decantación por caída interferida

Al llenar una columna de sedimentación de altura y diámetro adecuados con una suspensión floclulenta de elevada concentración, se tiene inicialmente una concentración uniforme en toda la altura de la columna (h_o). En diferentes tiempos se mide la altura de la capa superior de los lodos y se obtiene una curva tal como la que aparece en la figura 8, que tiene los siguientes rasgos:

- **Zona A-B.** La superficie de separación es muy definida. Esta es una fase de coalescencia de los flóculos seguida de una zona muy pequeña de decantación libre (en la mayoría de casos, esta primera zona no se produce).
- **Zona B-C.** Tiene una pendiente rectilínea. Corresponde a una velocidad de caída constante definida únicamente por el tipo de floculación y la concentración de las partículas. Al incrementarse la concentración inicial de las partículas disminuye la velocidad. A esta zona se la denomina decantación frenada.
- **Zona C-D.** En esta zona se produce la disminución progresiva de la velocidad de caída. Se denomina zona de desaceleración o transición.
- **Zona D-E.** En esta zona los flóculos se tocan y ejercen presión sobre las capas inferiores, puesto que están soportados por estas. Se le llama zona de compresión.

Si consideramos, por simplicidad, que al decantarse una suspensión concentrada no se produce la primera zona, se obtienen las alturas de separación de interface como se indica en la figura 9.

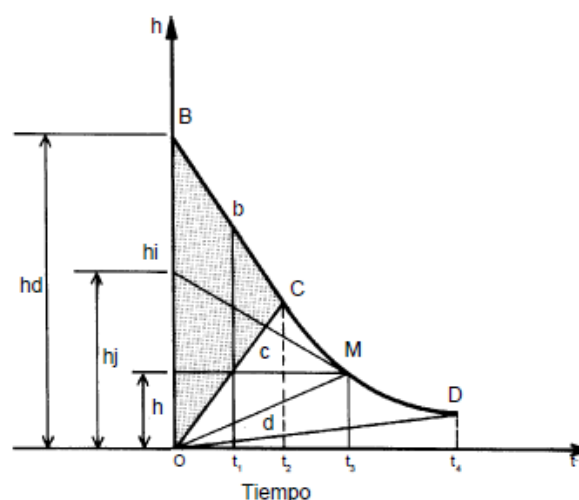


Figura 8. Diagrama de zonas [Decantación por caída interferida]

En el triángulo *BOC*, la concentración y la velocidad de caída son constantes e iguales, respectivamente, a los valores iniciales en *B*.

En el triángulo *COD*, las curvas de equiconcentración son rectas y que pasan por el origen, lo que significa que, desde los primeros momentos de la sedimentación, las capas más próximas al fondo se tocan y pasan por todas las concentraciones comprendidas entre la concentración inicial y la concentración al punto *D*, principio de la compresión.

- **Sedimentación con floculación.** La sedimentación con floculación tiene lugar cuando la velocidad de sedimentación de las partículas aumenta, debido a efectos de coalescencia con otras partículas, en este caso las trayectorias de sedimentación de las partículas tienen forma curva, en lugar de las líneas rectas que se producen en la sedimentación de partículas discretas.

Etapla 1. Calculo de la fracción de sólidos que permanecen en suspensión en cada punto de muestreo.

$$x = SS/SS_0$$

o en %:

$$y = SS/SS_0 \times 100 \quad (3)$$

Luego se calcula para cada muestra la fracción de sólidos separada:

$$1 - x$$

o en %:

$$z = 100 - y \quad (4)$$

Etapla 2. Para lograr una aproximación de los datos experimentales construir un gráfico del %SS separados con respecto al tiempo.

Etapla 3. Construir un grafico de sedimentación que corresponde a la profundidad en función de los porcentajes de SS separados. Esto se puede conseguir leyendo en las curvas a partir de la grafica construida en la etapa 2, en donde las abscisas corresponden a valores seleccionados de % de SS separados para cada uno de los puntos de muestreo.

Etapla 4. Se calcula los % SS separados y el factor de carga superficial ($\text{m}^3/\text{d}.\text{m}^2$). Para comprender este proceso, hay que hacer una serie de consideraciones previas. Aunque para la sedimentación con floculación, el diámetro de las partículas y sus velocidades de sedimentación aumentan a lo largo de su trayectoria de sedimentación, debido al efecto de coalescencia con las partículas próximas, para poder ver con más detalle esta etapa, hay que hacer referencia a las velocidades de sedimentación efectivas y diámetros efectivos. Una velocidad efectiva de sedimentación V_s , se define como la profundidad efectiva, dividida por el tiempo requerido para que una partícula determinada recorra esta distancia, es decir:

$$V_s = H / t \quad (5)$$

H = Altura de la zona de sedimentación

Si una suspensión contiene partículas con diferentes velocidades de sedimentación. El rendimiento de su separación se obtiene realizando ensayos con columnas de sedimentación. Supongamos que SS es la concentración de sólidos que permanecen en una muestra específica en un momento determinado,

es decir:

$$x_0 = SS/SS_0 = \text{fracción de los sólidos que permanecen} \quad (6)$$

$$1 - x_0 = 1 - SS/SS_0 = y_0 = \text{fracción de sólidos separados} \quad (7)$$

Las partículas con una velocidad de sedimentación V_s o superior (donde $V_s = H/t$) se separan totalmente. Las partículas con una velocidad de sedimentación inferior V_1 ($V_1 < V_s$) se separan en un porcentaje dado por la siguiente ecuación [24]:

$$V_1 / V_s = h / H \quad (8)$$

h = profundidad de sedimentación media (h)

Etapla 4 (a). A partir de la gráfica construida en la etapa 3 para una profundidad de 1.6m, se pueden obtener los valores de t (min), correspondientes a 5,10,20,30,40,50 y 60% de separación, y calcular las velocidades de sedimentación correspondientes (m/h).

Etapla 4 (b). Calcular el % de SS separado. Los cálculos para obtener el % de SS separados y el factor de carga, para un tiempo de sedimentación determinado. Considerar a continuación las partículas en cada 10% adicional, dentro del intervalo de distribución. Calculos similares pueden desarrollarse para los otros tiempos de sedimentación que se recogen. En consecuencia, para este primer intervalo, el % de SS separados sería

$$(h_1/H) * 10 \quad (9)$$

A partir del 5^{to} intervalo, el % de sólidos en suspensión separados es despreciable, pudiendo detenerse los cálculos en ese punto. En general, si se seleccionan intervalos de 10% el % total separados puede venir dado por la expresión:

$$\text{Separación total (\%)} = X_{\text{tot}} + (h_1/H) * 10 + (h_2/H) * 10 + (h_3/H) * 10 + \dots \quad (10)$$

1.6.5.1.3 Sedimentación por caída libre e interferida. Cuando existe una baja concentración de partículas en el agua, éstas se depositan sin interferir. Se denomina a este fenómeno caída libre. En cambio, cuando hay altas concentraciones de partículas, se producen colisiones que las mantienen en una posición fija y ocurre un depósito masivo en lugar de individual. A este proceso de sedimentación se le denomina depósito o caída interferida o sedimentación zonal. Cuando las partículas ya en contacto forman una masa compacta que inhibe una mayor consolidación, se produce una compresión o zona de compresión.

El fenómeno de sedimentación de partículas discretas por caída libre, también denominado en soluciones diluidas, puede describirse por medio de la mecánica clásica. En este caso, la sedimentación es solamente una función de las propiedades del fluido y las características de las partículas según se demuestra a continuación.

Imaginemos el caso de una partícula que se deja caer en el agua. Esta partícula estará sometida a dos fuerzas; fuerza de flotación (FF), que es igual al peso del volumen del líquido desplazado por la partícula (Principio de Arquímedes), y fuerza gravitacional (FG).

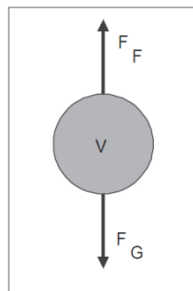


Figura 9. Fuerzas actuantes en una partícula.

De la acción de ambas fuerzas se tendrá como consecuencia una fuerza resultante, que será iguala a la diferencia de estos dos valores. Arrastrada por la fuerza (F_i), la partícula desciende con velocidad creciente, pero a medida que baja, la fricción que el líquido genera en ella crea una fuerza de roce definida por la Ley de Newton.

Después de un corto periodo, la aceleración pasa a ser nula y el valor de la fuerza de fricción (F_R) iguala a la de impulsión (F_i), momento en el cual la partícula adquiere una velocidad constante, conocida como velocidad de asentamiento o sedimentación.

1.6.5.2 Factores que influyen en la sedimentación. Los siguientes factores influyen en el proceso de sedimentación o decantación:

1.6.5.2.1 Calidad del agua. Las variaciones de concentración de materias en suspensión modifican, en primer lugar, la forma de sedimentación de las partículas (con caída libre o interferida), así como las propiedades de las partículas modifican la forma de depósito (sedimentación para partículas discretas y decantación para partículas floculentas).

Adicionalmente, variaciones de concentración de partículas o de temperatura producen variaciones de densidad del agua y originan corrientes cinéticas o térmicas que, a su vez, generan cortocircuitos hidráulicos en las unidades.

En el caso de variar la concentración, se producen corrientes de densidad por diferencias en las distintas masas de agua, que suelen crear fuerzas más importantes que las térmicas. Afortunadamente, la mayor concentración de partículas suele estar en el fondo, pero cualquier perturbación en el flujo, ya sea por temperatura, obstrucciones, alta velocidad de las paletas del floculador, etc. puede alterar el equilibrio y producir un flujo sinuoso o envolvente sobre sí mismo.

1.6.5.2.2 Condiciones hidráulicas. Los criterios y parámetros hidráulicos de diseño tienen gran influencia en la eficiencia de los sedimentadores o decantadores. A continuación se detallan los principales:

- **En la zona de sedimentación.** En esta zona se debe tener un número de Reynolds lo más bajo posible para tender a un flujo laminar estable. En esta zona las líneas de flujo no deben encontrarse con ningún tipo de obstrucciones que alteren su trayectoria. Adicionalmente, la presencia de flujo de pistón mejora el proceso y el flujo mezclado no lo favorece.

- **En la zona de entrada.** La zona de entrada en un sedimentador es un conjunto de estructuras que debe permitir una distribución uniforme del flujo de agua hacia la zona de sedimentación.

Las alteraciones del flujo en la zona de entrada deben evitarse y su presencia puede deberse a una velocidad excesiva del flujo en la entrada del sedimentador, o a que los orificios de ingreso sean muy grandes y el movimiento de las paletas del floculador sea tal que comunica demasiada energía al flujo. Al no haber disipación de esta energía en el tabique divisorio (caso de unidades convencionales de flujo horizontal), las masas de agua entran con diferente gradiente de velocidad, creando turbulencias que pueden extenderse dentro de la zona de sedimentación.

Similarmente, puede mencionarse como causa de corrientes cinéticas la distribución desigual del flujo en la entrada del sedimentador (orificios de distintos diámetros o algunos parcialmente obstruidos).

- **En la zona de salida.** Esta zona se caracteriza por permitir una recolección uniforme de agua sedimentada a una velocidad tal que evite arrastrar flóculos en el efluente. Canaletas de pequeña longitud, mal ubicadas, mal niveladas o impropriadamente diseñadas producen cortocircuitos hidráulicos y zonas muertas que pueden inutilizar grandes áreas de los sedimentadores.

1.6.5.2.3 Factores externos. Paradójicamente, los factores externos al proceso de sedimentación acondicionamiento previo (procesos previos a la sedimentación), prácticas operacionales y factores ambientales son los que tienen más influencia en la eficiencia de un sedimentador o decantador.

Buena o inadecuada coagulación y floculación ocasionan, respectivamente, altas o bajas eficiencias en los decantadores. Idéntico comentario cabe realizar acerca de la operación y el estado de la unidad, así como sobre los programas de mantenimiento existentes.

1.6.5.3 Tipos de sedimentadores. La sedimentación o la decantación se realizan en reactores denominados sedimentadores o decantadores, de acuerdo con el tipo de partícula que se remueva en cada unidad. La clasificación más recomendable es la siguiente:

- Sedimentadores o decantadores estáticos
- Decantadores dinámicos
- Decantadores laminares

1.6.5.3.1 Sedimentadores y decantadores estáticos. En este tipo de unidades puede producirse sedimentación o decantación, normalmente con caída libre, en régimen laminar turbulento o de transición.

En estas unidades la masa líquida se traslada de un punto a otro con movimiento uniforme y velocidad V_H constante. Cualquier partícula que se encuentre en suspensión en el líquido en movimiento, se moverá según la resultante de dos velocidades componentes: la velocidad horizontal del líquido (V_H) y su propia velocidad de sedimentación (V_S).

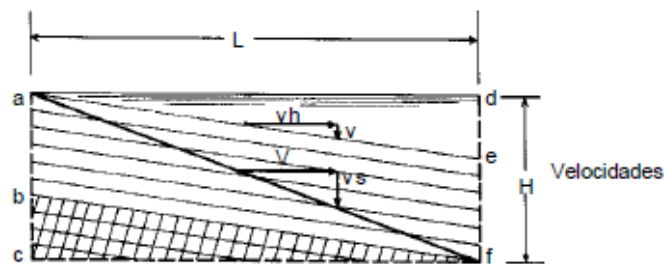


Figura 10. Trayectoria ideal de las partículas.

Una unidad de sedimentación consta de las siguientes zonas, con diferentes funciones específicas:

- Zona de entrada y distribución de agua
- Zona de sedimentación propiamente dicha
- Zona de salida o recolección de agua
- Zona de depósito de lodos.

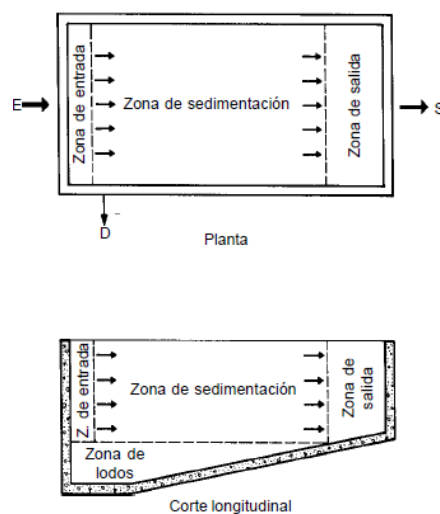


Figura 11. Zonificación de un sedimentador.

1.6.5.3.2 Decantadores dinámicos. La teoría de la decantación interferida se aplica a este tipo de unidades. Se requiere una alta concentración de partículas para incrementar las posibilidades de contacto en un manto de lodos que tiene una concentración de partículas de 10 a 20% en volumen.

En el proceso, el flóculo no conserva su peso específico, su tamaño ni su forma constante. Las partículas pequeñas que entran por el fondo son arrastradas por el flujo. Al chocar estas con otras, incrementan su tamaño. Se entiende que en la zona del manto de lodos se promueve la floculación y en la parte superior a ella ocurre la decantación.

La eficiencia de los decantadores de manto de lodos depende del tipo y la dosis de coagulante, del uso de polímeros, de la calidad del agua cruda, del tamaño de las unidades (la eficiencia es inversamente proporcional al tamaño), de la profundidad, concentración del manto de lodos y, principalmente, de la carga superficial.

Una unidad de manto de lodos consta básicamente de los siguientes componentes:

- Sistema de entrada de agua
- Zona de formación del manto de lodos
- Zona de clarificación
- Sistema de recolección de agua clarificada
- Zona de concentración de lodos.

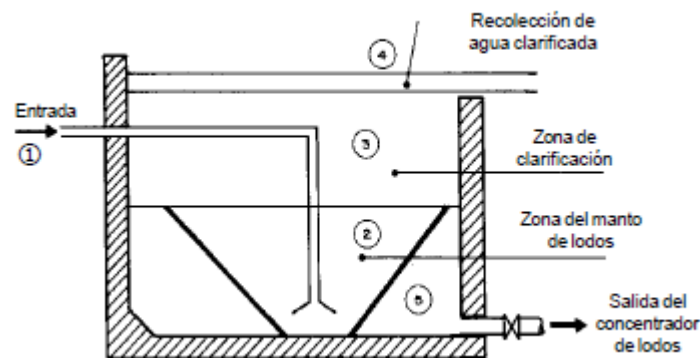


Figura 12. Componentes de un decantador de manto de lodos.

Para obtener un buen rendimiento, debe prestarse especial atención a la forma de entrada del agua. Excesiva turbulencia puede producir perturbaciones que afectan todo el manto de lodos.

La ventaja de estas unidades es que no son patentadas; no tienen, por lo general, ninguna pieza movable dentro del tanque ni requieren energía eléctrica para su funcionamiento.

1.6.5.3.2 Decantadores laminares. Como se analizó anteriormente, la eficiencia de los decantadores clásicos de flujo horizontal depende, principalmente, del área. De este modo, si se introduce un piso intermedio a una altura (h) a partir de la superficie, las partículas con una velocidad de sedimentación $V_{sb} < V_{sc}$ serían removidas.

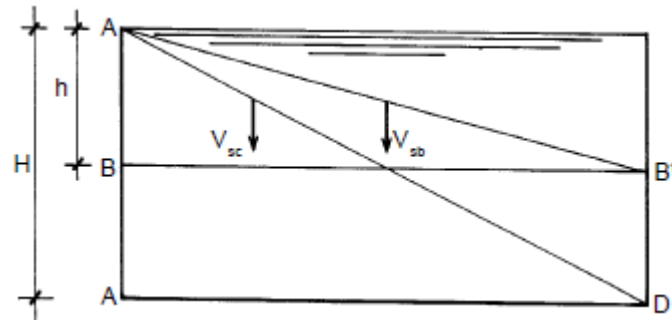


Figura 13. Efecto de introducción de superficies intermedias de sedimentación en los decantadores convencionales.

Se podría admitir que la capacidad de clarificación del decantador aumentaría con la duplicación del área horizontal.

Se considera que tres son los efectos que favorecen la remoción de las partículas en este tipo de unidades:

- Aumento del área de sedimentación.
- Disminución de la altura de caída de la partícula y
- Régimen de flujo laminar.

El valor de V_{sc} en las expresiones anteriores representa la velocidad decaída de la partícula crítica, equivalente a la que habría en un sedimentador convencional de flujo horizontal teóricamente de igual eficiencia.

- ***Tipos de decantadores laminares.*** De acuerdo con la dirección del flujo, los decantadores laminares pueden clasificarse así:

- ***De flujo horizontal.*** En estos el flujo del agua es o tiende a ser horizontal.

La figura 14 representa un sedimentador laminar con láminas ligeramente inclinadas con un ángulo de 5° (ángulo de máxima eficiencia remocional). En esta solución, se requiere invertir el flujo para realizar la limpieza del sedimentador.

Esta solución es muy utilizada en plantas comerciales o plantas de pequeña capacidad (inferior a 50 litros por segundo). Su uso se limita únicamente por razones económicas.

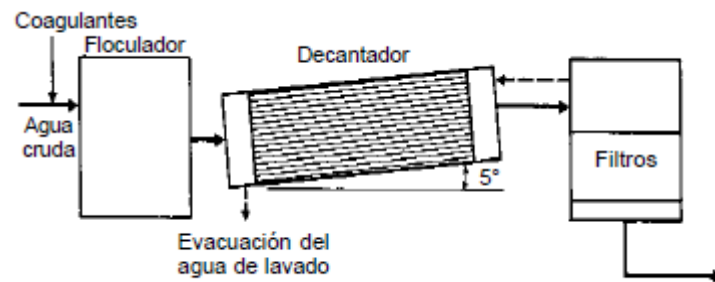


Figura 14. Decantador de láminas horizontales

Para evitar el lavado y obtener al mismo tiempo máxima eficiencia y escurrimiento de lodos depositados en las láminas, se puede recurrir a las soluciones indicadas en la figura 15. Estos son sedimentadores laminares de flujo horizontal (máxima eficiencia), pero con láminas planas paralelas inclinadas para obtener la pendiente necesaria de escurrimiento de flóculos.

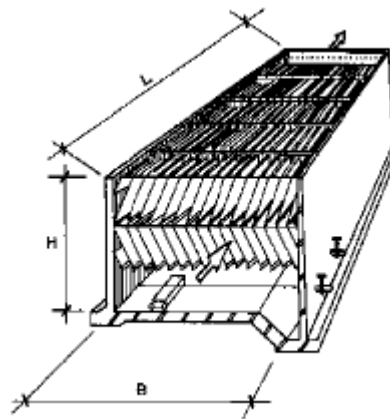


Figura 15. Decantador de láminas inclinadas

- **De flujo inclinado.** Este tipo de decantadores es el más usado. Generalmente, en la parte inferior del decantador se presenta una zona de distribución de agua. En la parte media existen módulos inclinados con un ángulo de 60° . El agua decantada se recolecta lateralmente en la parte superior como indica en la figura 16.

Se puede aplicar con éxito decantación laminar con ciertas condiciones de calidad de agua y material transportado, en nuevos diseños o en modificación de desarenadores o sedimentadores convencionales de flujo horizontal, ya sea para incrementar su eficiencia o su capacidad, o ambas cosas simultáneamente. [25]

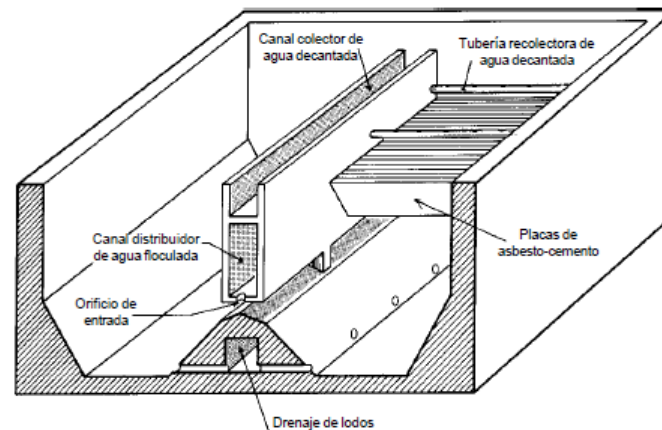


Figura 16. Decantador de placas con canaletas laterales de recolección de agua decantada, tolvas continuas para lodos y extracción mediante sifones

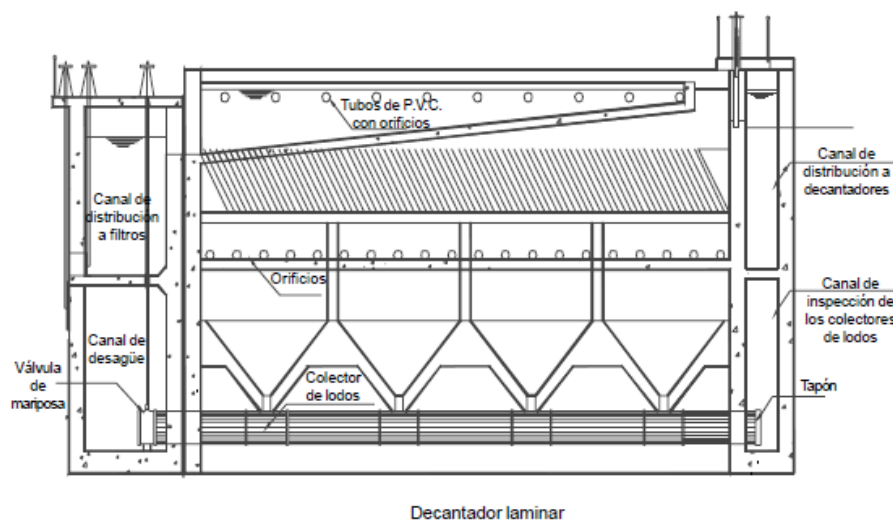


Figura 17. Decantador de placas adecuado para plantas grandes: canal central de distribución, sistemas de recolección mediante tuberías y tolvas de lodos con colectores de extracción uniforme

1.6.5.4 Velocidad de sedimentación. La partícula que se supone discreta y esférica se encuentra sometida a la acción gravitatoria, por lo que estará solicitada por una fuerza que le imprimirá un movimiento vertical uniformemente acelerado. Esa fuerza que denominaremos "activa" estará dada por:

$$\overline{F}_a = \overline{G} - \overline{E} \quad (11)$$

Donde \overline{G} representa el peso de la partícula y \overline{E} el empuje que ésta recibe por estar inmersa en un líquido.

Escribiendo \overline{G} en función de la masa específica y considerando su módulo tendremos:

$$G = g \cdot \tau \cdot \rho_s \quad (12)$$

Donde τ es el volumen y ρ_s es la masa específica de la partícula.

Haciendo lo propio para el empuje se deduce:

$$E = g \cdot \tau \cdot \rho \quad (13)$$

Donde τ es el volumen desalojado por la partícula y ρ la masa específica del agua.

El módulo de la fuerza activa será entonces:

$$F_a = g \cdot \tau \cdot (\rho_s - \rho) \quad (14)$$

El movimiento de asentamiento producido origina una fuerza de rozamiento, la que equilibra a la fuerza activa anulando en condiciones de régimen a la aceleración y produciendo un asentamiento caracterizado por una velocidad uniforme V_s .

$$F_{res} = C_d \Omega \rho \frac{V_s^2}{2} \quad (15)$$

Igualando la ecuación (14) y (15)

Se obtendrá:

$$g \tau (\rho_s - \rho) = C_d \Omega \rho \frac{V_s^2}{2} \quad (16)$$

Despejando V_s :

$$V_s = \sqrt{\frac{2g}{C_d} \frac{(\rho_s - \rho)}{\rho} \frac{\tau}{\Omega}} \quad (17)$$

Pero como $\Omega = \pi \cdot d_p^2 / 4$ y $\tau = \pi \cdot d_p^3 / 6$; reemplazando en la expresión anterior se tendrá:

$$V_s = \sqrt{\frac{4 \cdot g \cdot (\rho_s - \rho) \cdot d_p}{3 \cdot C_d \cdot \rho}} \quad (18)$$

Dónde:

V_s = Velocidad de sedimentación

g = Constante de gravedad 9.8 m/s^2

d_p = Diámetro de partícula

C_d = Coeficiente de arrastre

La expresión (18) es conocida como Ley de Newton de la sedimentación y nos da el valor de la "velocidad de sedimentación" en función del diámetro de la partícula, las masas específicas del agua y la partícula y del N° de Reynolds. [26]

1.6.5.5 Índice de Willcomb. Las partículas que se remueven en una planta de tratamiento de agua son sólidos inorgánicos y orgánicos. Los factores primordiales que influyen en la velocidad de sedimentación son su tamaño, forma y densidad.

La materia en suspensión que origina la turbiedad consiste principalmente en sílice finamente dividida, arcilla y limo. La densidad original de las partículas es cercana a 2,60. El color, en cambio, es producido principalmente por ácidos orgánicos de origen vegetal con densidades variables de 1 a 1,5 dependiendo de su concentración. Las partículas se presentan principalmente en estado coloidal y es necesario añadirles coagulantes químicos y someterlas a procesos de coagulación y floculación para incrementar su tamaño o densidad antes del proceso de sedimentación.

Las partículas en suspensión de aguas tratadas con coagulantes, consisten en flóculos formados por óxidos metálicos (Al_2O_3 o Fe_2O_3), agua en 85 a 95% y turbiedad y/o color con densidades variables entre 1,002 cuando predomina el color y 1,03 cuando predomina la turbiedad. En procesos de ablandamiento los flóculos tienen densidades cercanas a 1,20.

El diámetro de los flóculos es variable desde menos de 0,001 mm hasta más de 5 mm, dependiendo de las condiciones de mezcla y floculación (gradientes de velocidad y tiempo de retención). Willcomb clasifica los flóculos por su tamaño, tal como se indica en la figura 18.

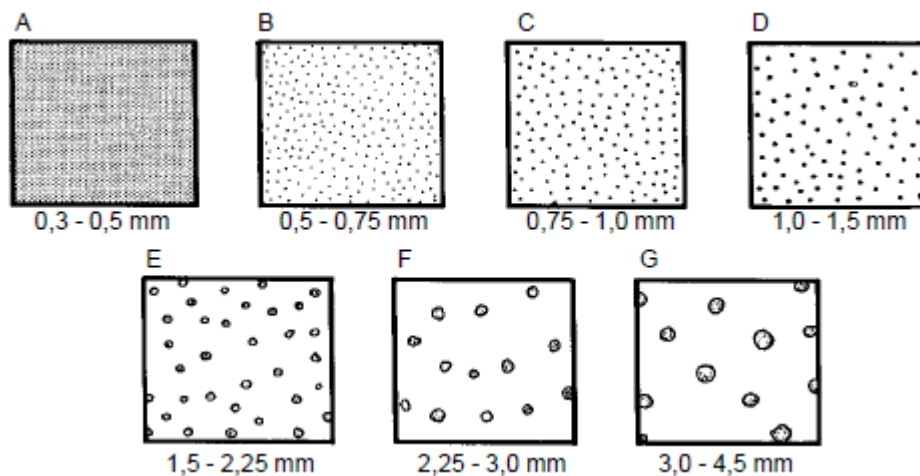


Figura 18. Índice de Willcomb para determinar el tamaño del flóculo

El desarrollo experimental, como fundamento del proceso de tratamiento, corresponde al Sistema de Simulación, basados en las pruebas Universales de Jarras y el Modulo de Oxidación Avanzada, denominado Oxitop.

El concepto básico de simulación es imitar en un sentido práctico, el efecto y característica de realidad de un determinado proceso a través de la herramienta computacional. De esta forma se pueden imitar procesos, sistemas, maquinarias, etc. Existe entonces la necesidad de identificar modelos que tienen diferentes grados de aproximación, que se denomina confiabilidad del modelo utilizado. Al obtener los modelos, se pueden estudiar comportamientos y relaciones entre variables.

Existe un simulador de procesos denominado JarTest, (Test de Jarras). Este simulador JarTest sirve para imitar diferentes procesos de tratamientos de efluentes tales como: Agua Potable, Agua Servida y Residuos Líquidos Industriales.

El índice de Willcomb Consiste simplemente en observar la forma como se desarrolla el floc en cada una de las jarras, escogiendo aquella que produzca el floc más grande, de mayor velocidad de asentamiento aparente, y que deje ver un agua más cristalina entre las partículas coaguladas.

La comparación de los tamaños del floc no es fácil. Algunos prefieren estimarlo en milímetros en forma muy aproximada. [27]

Tabla 2. Índice de Willcomb

Número del índice	Descripción	Observación
0	No visible	Ningún signo de aglutinación
2	Visible	Floc muy pequeño, casi imperceptible
4	Disperso	Floc bueno, sedimenta muy lentamente
6	Claro	Floc bueno, precipita con lentitud
8	Bueno	Floc bueno, que se deposita fácil pero no total
10	Excelente	Floc muy bueno, que se deposita total

Fuente: COPIULEMU S. A. Antecedentes Técnicos Planta de Tratamiento Oxidación Avanzada [en línea]. [Fecha de consulta: 01 Marzo 2013] Documento electrónico disponible en: http://www.eseia.cl/archivos/AnexoB_Antecedentes_Tecnicos_Planta_Oxidacion_Avanzada.pdf

1.6.6 Filtración. Las impurezas de menor tamaño que no han sido depositadas en las piletas de sedimentación o coagulación, pueden ser retenidas por filtración. Este procedimiento consiste en presionar el agua a través de un cuerpo poroso y permeable, como es: la arena, carbón cok, tierra de infusorios, gres, papel comprimido, entre otros. A su paso abandona las sustancias en suspensión y amenora su contenido en bacterias y de materias en disolución.

El grado que alcanza la depuración depende de la naturaleza de la materia filtrante y de su espesor. Las grandes instalaciones urbanas se construyen a base de arena, por ser el medio más económico. En toda arena ya sea cualquiera el grado de fineza, los granos dejan entre sí una red de innumerables canales de sección capilar. Por causa del conocido fenómeno de adsorción antes descrito, quedan retenidas las partículas en suspensión, bacterias y parte de las materias disueltas adheridas a los granos de arena. [28]

1.6.6.1 Carrera de filtración Una información de gran ayuda para conocer el comportamiento del filtro y en sí del proceso de filtración es la determinación de la pérdida de carga y de la calidad del efluente de los filtros. Teóricamente se debería cumplir que la mayor pérdida de carga ocurra en el mismo instante en que se produce la mayor turbiedad permitida en el efluente, pero en la práctica no suele ocurrir así, debido a una mala operación en el lavado de los filtros, mal funcionamiento del lecho filtrante o en sí por la calidad del afluente. [29]

1.6.6.2 Mecanismos de filtración. Según las características de las partículas que se deben retener y del material filtrante utilizado, pueden intervenir uno o varios de los tres mecanismos principales siguientes: depósito, fijación y desprendimiento.

1.6.6.2.1 Mecanismo de depósito. Son esencialmente de dos tipos:

- **Tamizado mecánico.** Se trata de la retención de las partículas más gruesas que el hueco de malla del filtro o el hueco de los elementos ya depositados, que forman, por sí mismos, un material filtrante.

Este fenómeno interviene tanto más cuanto más fina es la malla del material filtrante; tiene poca importancia en el caso de un lecho filtrante compuesto por material relativamente grueso; por el contrario, actúa de forma preponderante en una filtración sobre soporte de malla fina.

- **Depósito sobre el material filtrante.** La partícula en suspensión sigue en el líquido una línea de corriente; su talla, comparada con el tamaño de los poros, podría permitirle atravesar el material filtrante, sin ser detenida. Sin embargo, a causa de diversos fenómenos, se produce un cambio de trayectoria y su contacto con el material.

Son estos fenómenos:

- La interceptación directa
- La atracción por fuerzas de Van der Waals
- La inercia de la partícula
- la sedimentación: las partículas pueden depositarse por su propio peso, sobre el material filtrante, cualquiera que sea el sentido de filtración.
- El movimiento giratorio bajo la acción de fuerzas hidrodinámicas.

1.6.6.2.2 Mecanismos de fijación. Si la velocidad de flujo es pequeña, se favorece la fijación de las partículas sobre la superficie del material filtrante.

Es debida a fuerzas de origen físico (enclavamiento, cohesión, etc.) y a fuerzas de adsorción, principalmente fuerzas de Van der Waals.

1.6.6.2.3 Mecanismos de desprendimiento. Bajo la acción de los mecanismos anteriores, se produce una disminución del espacio entre las paredes del material recubiertas de partículas ya depositadas.

Hay un aumento de velocidad y el flujo puede pasar de laminar a turbulento. Los depósitos retenidos pueden desprenderse parcialmente y ser arrastrados dentro del material filtrante o incluso con el filtrado.

Las partículas sólidas contenidas en un líquido y las partículas coloidales, más o menos floculadas, no tienen las mismas características y no reaccionan de la misma forma ante los distintos mecanismos descritos. La filtración directa de un líquido cuyas materias en suspensión conservan su estado y su carga eléctrica, será por tanto muy distinta de la filtración de un líquido coagulado. [30]

1.6.6.3 Tipos de filtración. Se presentan dos tipos de filtración a través de un lecho filtrante

1.6.6.3.1 Filtración lenta. La filtración lenta tiene por objetivo la depuración de las aguas de superficie sin coagulación ni decantación. Debido a la baja velocidad de filtración, la pérdida de carga, en cada etapa es bastante pequeña y los filtros se lavan, por término medio, una vez al año.

Los filtros de desbaste y los prefiltros se lavan más a menudo, en función de la turbiedad del agua bruta. Después del lavado, la calidad del agua filtrada no es satisfactoria, por lo que debe verterse ésta al desagüe, hasta que se forme la membrana biológica para la cual se precisan varios días.

La filtración lenta da buenos resultados de clarificación, en tanto que el agua se mantenga poco cargada de materias en suspensión y se respete una pequeña velocidad final de filtración, pero si el agua llega cargada, los filtros de desbaste y los prefiltros no son suficientemente eficaces y la turbiedad del agua tratada puede elevarse muy por encima del límite fijado por las normas, a menos que se reduzca la velocidad de filtración.

Por otra parte, estos filtros son especialmente sensibles a un desarrollo fuerte de plancton, que puede producir un atascamiento superficial.

Algunos consideran la filtración lenta como un proceso de afinado limitado.

1.6.6.3.2 Filtración rápida. En el proceso de filtración rápida, el agua atraviesa el lecho filtrante a velocidades de 4 a 50 m/h. La acción biológica es prácticamente nula; se observa solamente una nitrificación en ciertos casos en los que se limita la velocidad, el contenido en oxígeno es suficiente y se encuentran en el agua bacterias, nitrificantes en condiciones nutritivas favorables.

Las arenas usadas son más gruesas que el sistema lento. El diámetro efectivo oscila de 0.4 a 0.6mm y el coeficiente de uniformidad de 1.5 a 1.7. Las aguas son previamente clarificadas con uso de coagulantes. Se dejan asentar los grandes flóculos y las aguas aun ricas en material coagulante pasan a los filtros donde forman una membrana química, recubriendo los granos con una capa gelatinosa a bastante profundidad. Tiene gran fuerza de adsorción y el filtro se colmata rápidamente. La limpieza debe efectuarse una a dos veces al día.

1.6.6.4 Medio poroso. Un material filtrante se caracteriza generalmente por los siguientes factores, cuyas definiciones se detallan a continuación.

1.6.6.4.1 Granulometría. Se caracteriza por una curva representativa de los porcentajes en peso de los granos que pasan a través de las mallas de una sucesión de tamices normalizados.

1.6.6.4.2 Talla efectiva. Corresponde al porcentaje 10 de la curva anteriormente mencionada y determina, en gran parte, la calidad de filtrado, juntamente con los dos factores siguientes.

1.6.6.4.3 Coeficiente de uniformidad. Relación de las tallas correspondientes a los porcentajes 60 y 10 de la curva anterior.

1.6.6.4.4 Forma de los granos. Angulosos (materia triturado) o redondos (arena de río y de mar)

Se obtienen calidades de agua filtrada similares, con un material anguloso de talla efectiva menor que la de un material de granos redondos.

Para una misma granulometría el aumento de pérdida de carga es menor con granos angulosos que con granos redondos, ya que, contrariamente a los que se puede pensar, los granos angulosos se acoplan menos fácilmente unos con otros, que los granos redondos.

1.6.6.4.5 Friabilidad. Mediante el ensayo correspondiente, pueden elegirse los materiales utilizables en filtración, sin peligro de que se produzcan finos en las operaciones de lavado. Su importancia depende del tipo de funcionamiento del filtro.

Así, un material friable debe rechazarse especialmente en el caso de un filtro que funcione de arriba abajo y que se lava solamente con agua, ya que los finos que se formen producirán un atascamiento en superficie.

1.6.6.5 Atascamiento y lavado del material filtrante. Se denomina atascamiento a la obstrucción progresiva de los intersticios del material filtrante. Si la presión de alimentación es constante, el caudal del filtrado disminuye.

Para mantener este caudal constante, deberá aumentarse la presión inicial, a medida que se vaya produciendo el atascamiento.

La velocidad de atascamiento depende:

- De las materias que se retienen: es tanto mayor cuanto más cargado está el líquido de materias en suspensión y cuanto mayor es la cohesión de estas materias y su capacidad de filtración
- De las características del elemento filtrante: dimensión de los poros, homogeneidad, rugosidad, formas del material etc. [31]

1.6.6.6 Lavado de filtros. El lavado es una operación muy importante: si es insuficiente, lleva consigo el atascamiento permanente de ciertas zonas, dejando un paso reducido al agua; la pérdida de carga crece rápidamente y la filtración se efectúa localmente, con más rapidez y menos eficacia; en el lecho filtrante pueden desarrollarse entonces microorganismos perjudiciales para la calidad y el sabor del agua.

1.6.6.6.1 Métodos de lavado. Para lavar el material filtrante, se le somete al material filtrante a una corriente de agua que circula generalmente de abajo hacia arriba, corriente destinada a despegar las impurezas y arrastrarlas hacia el canal de evacuación. El material filtrante debe agitarse al mismo tiempo en la corriente de agua. Para obtener este resultado, pueden emplearse varios métodos.

- ***Lavado por expansión, sólo con agua.*** Se elige un caudal de agua suficientemente elevado para expandir el material filtrante, es decir, para que su volumen aparente quede incrementado en un 15% como mínimo.

Teniendo en cuenta la variación de la viscosidad del agua en función de la temperatura, es recomendable prever un sistema de medida y regulación del caudal de agua de lavado, con el fin de ajustar este caudal para mantener constante en el tiempo el grado de expansión deseado.

En la capa en expansión se producen corrientes de convección, circulando el material filtrante hacia abajo en unas zonas y hacia arriba en las zonas próximas. Debido a esto, sucede que trozos de la capa compacta de fango que forman una costra en la superficie del material filtrante son arrastrados hacia la parte más profunda, y bajo la acción de las corrientes de torbellino, forman bolas duras y voluminosas.

Se combate en parte este efecto rompiendo la costra superficial mediante chorros de agua a presión distribuidos por tuberías giratorias o fijas (lavadores de superficie). Esta forma de lavar exige muchas precauciones y la medida exacta del valor de la expansión del material filtrante. Su mayor defecto consiste en que produce una clasificación granulométrica, concentrando los finos de material filtrante en la superficie, efecto desfavorable en una filtración de arriba abajo.

- ***Lavado sin expansión, simultáneamente con agua y aire.*** Un segundo método, cada vez más generalizado, consiste en utilizar un pequeño caudal de retorno de agua, insuficiente para provocar la expansión del material filtrante, y agitar éste al mismo tiempo mediante una inyección de aire comprimido. Puesto que no hay expansión del material filtrante y la costra superficial se destruye perfectamente por el aire, no hay formación de bolas duras y voluminosas.

Durante la inyección de aire, puede variarse el caudal de agua de lavado dentro de un margen muy amplio, manteniéndose siempre superior a un valor de $5 \text{ m}^3/\text{h}$ por m^2 . Cuando mayor sea este caudal, más rápido y eficaz será el lavado. El valor máximo depende del material y de la tecnología del filtro.

Cuando las impurezas separadas del material filtrante se acumulan en el agua que se encuentran entre éste y el canal de evacuación, debe efectuarse un aclarado, es decir, debe reemplazarse el agua fangosa por agua clara.

Puede emplearse varios métodos de aclarado, una vez detenida la inyección de aire.

- Mantener constante el caudal de agua de retorno, hasta que el agua evacuada sea clara. El tiempo empleado en esta operación es tanto menor cuanto mayor es el caudal de agua (debe ser siempre superior a $12 \text{ m}^3/\text{h}$ por m^2) y cuanto menor es el espesor de la capa de agua existente encima del material filtrante.
 - Aumentar el caudal de agua durante el aclarado para llevarlo, al menos, hasta $15 \text{ m}^3/\text{h}$ por m^2 .
 - Barrer la superficie del filtro por una corriente horizontal de agua bruta o de agua decantada combinada con el retorno de agua.
 - Vaciar el agua fangosa situada encima del material filtrante y barrer la superficie de ésta como en el párrafo anterior.
- **Lavado con agua y aire, utilizados sucesivamente.** Se procede a este método de lavado cuando, por la naturaleza del material filtrante, no puede utilizarse aire y agua de lavado simultáneamente, sin riesgo de que el agua de lavado arrastre material al desagüe: es el caso de un lecho filtrante constituido por arena fina o materiales de pequeña densidad (antracita, carbón activado).

En la primera fase del lavado, se utiliza solamente aire para que las impurezas retenidas se despeguen del material filtrante. En la segunda fase, un fuerte caudal de agua de retorno, que garantiza la expansión del o de los materiales filtrantes, hace posible la extracción del lecho permitiendo la evacuación de las impurezas desprendidas en la primera fase.

En caso de impurezas pesadas o especialmente difíciles de eliminar, puede repetirse varias veces esta secuencia (lavado pulsado).

- **Lavado de filtros de aguas residuales.** El lavado de estos filtros no presenta características especiales, excepto en el caso de filtración biológica a través de materiales expansionados, en el que la presencia de fangos orgánicos, más difícil de eliminar que el fango de origen mineral, puede ser necesario repetir varias veces la secuencia de lavado. Los caudales de aire y de agua de lavado deben adaptarse a la naturaleza de los materiales filtrantes.
- Las aguas de lavado, con las impurezas que contienen, se devuelven a la entrada de la instalación, para un nuevo tratamiento.

1.6.6.7 Frecuencia de los lavados. La frecuencia de los lavados depende de la naturaleza del agua a filtrar. En la práctica, se toma como base la pérdida de carga y se procede al lavado cuando ésta alcanza un cierto límite, denominado impropriamente atascamiento máximo.

En realidad, esta pérdida de carga depende a la vez del atascamiento y del caudal. Sólo puede apreciarse el atascamiento del filtro si se trabaja a caudal constante.

No es necesario, sin embargo, preocuparse del caudal si éste no sobrepasa el caudal máximo y no es muy variable a lo largo del ciclo; se fija una pérdida de carga máxima en función de la calidad deseada, a condición de que ésta se mantenga dentro de los límites prescritos.

Si se trabaja a caudal muy variable, la mejor solución consiste en fijar el lavado después de la filtración de un cierto volumen de agua, determinado en función de la calidad obtenida al final del ciclo, dentro de las condiciones de explotación.

1.6.6.8 Consumo de agua de lavado. El consumo de agua de lavado es función, esencialmente, de la naturaleza y del peso de las partículas retenidas por m³ de materia filtrante. Mediante la utilización conjunta de aire de lavado y de agua decantada, puede reducirse en un 20 a 30% aproximadamente el consumo de agua con relación al lavado sólo con agua.

El consumo de agua de lavado es tanto mayor cuanto:

- Mayor es el espesor de agua por encima del material filtrante
- Menor es el caudal de agua de retorno, en caso de lavado sólo con agua
- Más separados se encuentran unos de otros los canales de evacuación de fangos
- Mayor es la cantidad de fangos a evacuar
- Mayor es la cohesión del fango y su densidad.

Este consumo aumenta, cuando se realiza un lavado de superficie a gran presión. [32]

1.6.7 Desinfección. La desinfección del agua para uso humano tiene por finalidad la eliminación de los microorganismos patógenos contenidos en el agua que no han sido eliminados en las fases iniciales del tratamiento del agua.

La desinfección del agua es necesaria como uno de los últimos pasos en la planta de tratamiento de agua potable, para prevenir que esta sea dañina para nuestra salud. Muchas veces, tratándose de agua de manantiales naturales o de pozo, la desinfección es el único tratamiento que se le da al agua para obtener agua potable. [33]

Un tiempo de contacto de 20 a 30 min como mínimo (es deseable que sea de 1 a 2h), con una dosis de cloro o de dióxido de cloro residual de 0,05 a 0,2 mg/l, es suficiente en general. El tiempo de contacto y el cloro residual deben ajustarse según el contenido del agua en nitrógeno amoniacal, la naturaleza del desinfectante utilizado y la aplicación eventual de una precloración.

Con el empleo de ozono puede reducirse el tiempo de contacto a unos 5 min, con la misma dosis residual que en el caso anterior, y sin que la dosis que debe añadirse esté influenciada por el nitrógeno amoniacal.

Puede interesar, también, llevar esta desinfección más allá de los criterios oficiales y fijarse como objetivo la eliminación total de los gérmenes comunes; para ello es necesario, en general, tratar el agua con una dosis de desinfectante mucho más fuerte, que dé lugar a un contenido residual libre considerable.

En el caso del cloro o de sus compuestos, es preciso inyectar una dosis superior al punto crítico durante un tiempo de contacto de una hora, por lo menos. El cloro residual libre es función de la naturaleza del agua y de los gérmenes que se desea eliminar.

En el caso del ozono, la experiencia indica que debe emplearse una dosis tal que se mantenga al menos 0.35 mg/l durante un tiempo aproximado de 4 min. Este criterio es el mismo que el que se sigue para la destrucción de los virus.

La elección del desinfectante, están en función de criterios técnicos (desinfección simple o completa, problemas de sabores) y económicos.

1.6.7.1 Cloración. Cloro e hipocloritos sódico y cálcico. Pueden utilizarse si el agua que se desea desinfectar no contiene materias orgánicas o contaminantes químicos, capaces de formar compuestos que den mal sabor al agua. Este riesgo se reduce al mínimo cuando se efectúa la desinfección ligeramente por encima del punto crítico, a condición de que la dosis de cloro residual a la salida de la instalación, no sea demasiado elevada; en ese caso, para eliminar el sabor a cloro, sería necesaria una reducción parcial con hiposulfito o, aún mejor, con dióxido de azufre.

Puede emplearse también cloro o hipoclorito antes de un tratamiento final sobre carbón en grano, que elimina las materias orgánicas que producen los sabores y cataliza la reducción del cloro en exceso.

Después de la filtración sobre carbón activo, puede efectuarse una adición suplementaria de cloro, en una dosis muy pequeña, destinada a mantener cloro residual en la red de distribución, sin peligro de malos olores, a menos que se deban a las mismas conducciones, a su revestimiento, o a sedimentos anteriores.

La cloración complementaria puede realizarse por cloraminas o con dióxido de cloro. La acción del cloro está muy influenciada por el pH; cuanto más elevado es éste, mayor es la dosis de cloro residual que debe mantenerse para obtener la misma eficacia.

1.6.7.2 Las cloraminas. Reducen o eliminan, generalmente, los sabores que podrían encontrarse en un tratamiento sólo con cloro. Pueden ser eficaces, aunque no siempre, cuando se quiere evitar el sabor a clorofenol.

1.6.7.3 El dióxido de cloro (ClO_2). Elimina sistemáticamente la formación de clorofenol, pero no tiene efecto sobre otros muchos sabores, como es el sabor a tierra o a lodo. Sólo es, por tanto, recomendable cuando el único sabor que puede producirse, es debido a clorofenoles.

Para evitar la presencia en el agua de un contenido excesivo de clorito sódico, es preciso, por una parte, limitar la dosis de dióxido que se emplea y, por otra, dado el carácter reversible de la reacción, utilizar una cantidad de cloro, para su formación, superior a la cantidad estequiométrica.

1.6.7.4 Con rayos ultravioletas. Se obtiene una buena desinfección y una eliminación completa de los virus, a condición de que se apliquen sobre una capa de agua de poco espesor, con una potencia suficiente y renovando las lámparas antes de que atribuyan una fuerte pérdida de su poder emisor. El agua debe ser clara, sin turbiedad ni color, desprovista de hierro, de coloides orgánicos o de microorganismos planctónicos, ya que estas impurezas podrían formar sedimentos sobre los tubos, que reducirían considerablemente la penetración de los rayos.

Si se cumplen estas condiciones, toda célula viva, activa o esporulada, atacada por los rayos ultravioletas, muere o, al menos, no puede reproducirse o actuar sobre el medio ambiente.

Sólo se consigue una seguridad total de tratamiento, con una instalación ampliamente dimensionada, bien controlada y mantenida, y utilizada con agua de calidad constante a lo largo de todo el año.

1.6.7.5 El ozono. Es el mejor desinfectante, de un precio de costo más elevado que el cloro o sus compuestos, pero de una eficacia muy superior, que sobrepasa netamente la fase de desinfección. El ozono tiene un efecto oxidante por adición de un átomo de oxígeno; su acción de ozonólisis le permite actuar sobre los enlaces dobles, fijando la moléculas completa de ozono sobre los átomo del doble enlace (acción sobre las proteínas, enzimas) El conjunto de estas propiedades hace actúe sobre los virus, los sabores, el color y sobre ciertos Microcontaminantes. A diferencia del cloro, que es muy sensible al pH del medio, éste tiene poca influencia sobre la dosis de ozono necesaria para la desinfección. [34]

1.6.8 Gestión de Residuos. En el desarrollo de la actividad realizada en las plantas potabilizadoras se generan residuos de diferente naturaleza:

1.6.8.1 Lodos de la decantación. Como hemos visto anteriormente, el agua recogida es sometida a diversos procesos para eliminar todos aquellos elementos que puedan resultar nocivos para los consumidores. A lo largo de todo este proceso de tratamiento, tanto en los decantadores como en el lavado de filtros, se genera un importante volumen de lodos que es necesario acondicionar y tratar de forma adecuada. La variedad o diferentes características de los fangos dependen esencialmente de la calidad del agua bruta y del tratamiento aplicado.

Los residuos retenidos en los decantadores son lodos que se obtienen en la coagulación, como son los óxidos hidratados de aluminio, junto con materias de naturaleza orgánica e inorgánica, arrastradas por el agua, que en la mayoría de los casos son estables y no putrescibles, y que se van extrayendo periódica e intermitentemente del fondo de los decantadores. En cuanto a los residuos procedentes del lavado de filtros, éstos son similares a los anteriores, pero de más baja concentración, si bien, como los filtros pueden favorecer el desarrollo biológico, el agua de lavado puede contener mayor cantidad de materia orgánica que la procedente de la purga de los decantadores.

1.6.8.2 Residuos generados en las operaciones de mantenimiento. Estos residuos son generalmente envases vacíos contaminados (sacos de reactivos, pinturas, disolventes, aerosoles, etc.) Si bien es cierto que se generan en poca cantidad, son residuos peligrosos, por lo que se deben gestionar como tales. En este sentido, se han encontrado planes hidráulicos donde no se ha evidenciado que se gestionen estos residuos convenientemente, ya que se gestionan como residuos sólidos urbanos e incluso se reutilizan de forma inadecuada, con el riesgo que representa para el entorno inmediato y la salud de los trabajadores.

1.6.8.3 Residuos generados en la limpieza de depósitos y almacenamientos. Periódicamente es necesario limpiar los depósitos de los reactivos químicos, debido a los restos e incrustaciones que se van depositando en los almacenamientos.

Estas limpiezas son realizadas por una empresa externa, que se encarga finalmente de gestionar el residuo. [35]

1.6.8.4 Plantas de tratamiento de aguas residuales. Estas plantas se basan en un sistema de Lodos Activados en la modalidad de Oxidación Total combinado con un proceso vanguardista de Sistemas Secuenciales, asemejando así al proceso natural con el que el agua contaminada es tratada en ríos, lagos y mares. En un río, cuando se descarga agua residual, se puede observar que el agua “se limpia” después de haber recorrido de 100 a 200 kilómetros, equivalente a unos 10 días.

Esta “limpieza” la realizan bacterias que se alimentan de la materia orgánica (i.e. los contaminantes). De manera similar, en estas plantas de tratamiento, los contaminantes son eliminados por bacterias, pero a diferencia del río, este proceso se realiza en menos de 24 horas.

Es interesante hacer un poco de historia, ya que el proceso de lodos activados nació precisamente del estudio al río Támesis durante la revolución industrial, cuando grandes volúmenes de aguas contaminadas le eran descargadas. Tras observación y experimentación descubrieron que existía “lodo activo” que se encargaba de la limpieza del agua. Posteriormente descubrieron que ese “lodo activo” eran colonias de bacterias –principalmente e-coli, proveniente de la flora intestinal de humanos y animales- que se encargaba de “comerse” los contaminantes, y que el oxígeno suministrado por cascadas, rápidos, etc. evitaba la producción de olores (al contrario de lo que pasaba en los pantanos y aguas estancadas donde no había suministro de oxígeno).

En un principio, las plantas de tratamiento se desarrollaron con métodos empíricos, y para los años 70’s, las normas de descarga se volvieron sumamente estrictas, lo que motivó a desarrollos más avanzados para tratamiento secundario (i.e biológico) de agua residual.

Esta tecnología cuenta con las modalidades de Oxidación Total –que permite una alta eficiencia en remoción de contaminantes asociado a una muy baja producción de lodos de desecho, y un Sistema Secuencial que permite un perfecto control del proceso para el tratamiento de contaminantes.[36]

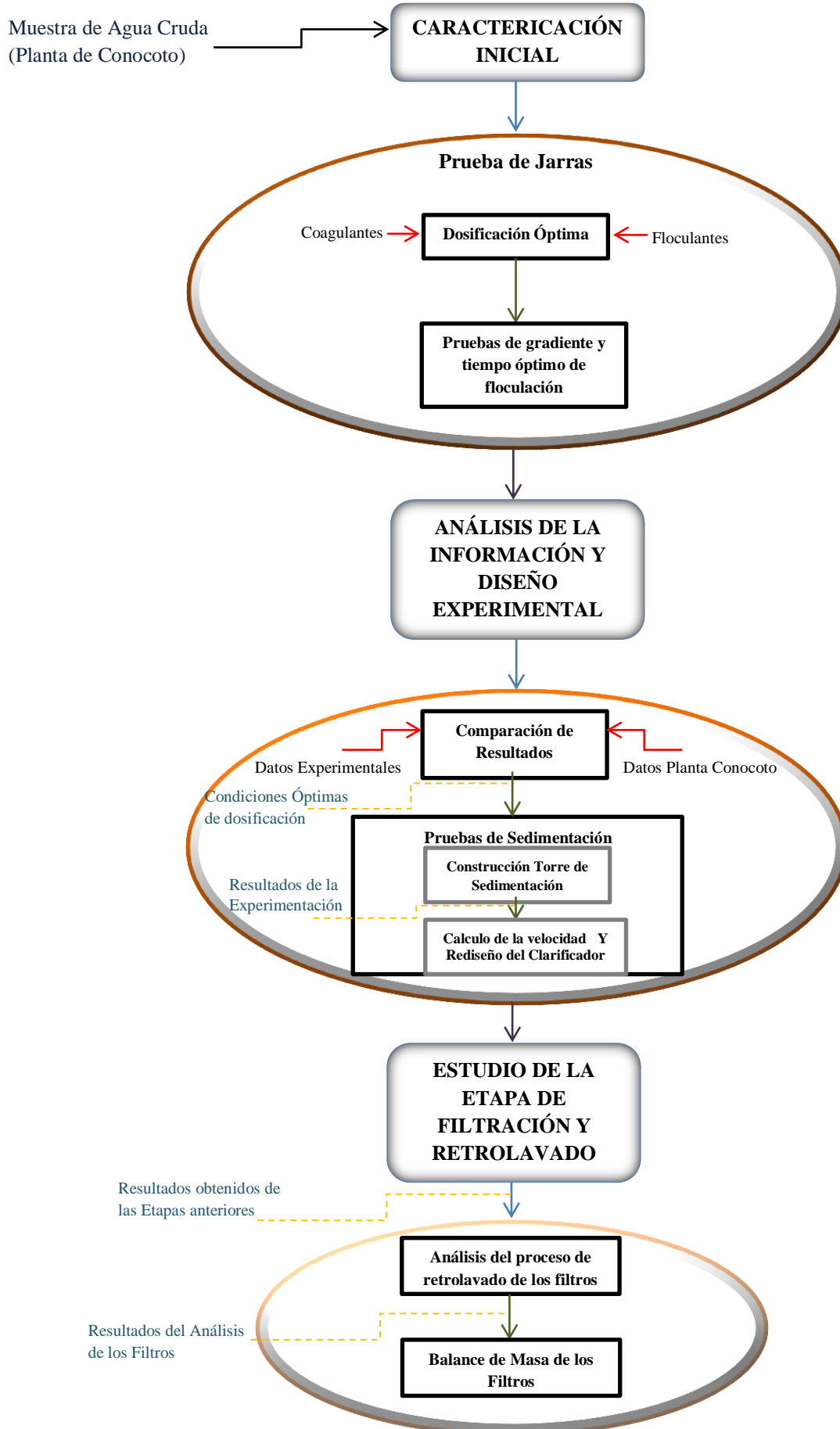
2. MARCO EXPERIMENTAL

2.1 Proceso experimental

2.1.1 Descripción del proceso experimental. El estudio realizado en busca de una propuesta que disminuya las concentraciones de sólidos en suspensión de las descargas líquidas en la etapa de retrolavado de los filtros, se puede describir en tres etapas que engloban todo el proceso.

- **Caracterización inicial:** mediante pruebas de jarras se realizó una serie de ensayos con el fin de definir las mejores condiciones de operación en la unidad de clarificación de la planta de Conocoto. Estas pruebas de jarras están sostenidas en la Norma ASTM D 2035-08. Las experimentaciones englobaron estudios con tipos de coagulante, dosificación óptima de coagulante y floculante, eficiencia del floculante en el proceso y finalmente ensayos para determinar el tiempo óptimo de floculación y el gradiente de velocidad; todo esto con muestras de agua cruda referentes a los meses característicos que comprenden las condiciones climáticas del país.
- **Análisis de la información y diseño experimental:** Esto implicó una comparación de los resultados obtenidos en los ensayos con los informes de datos de la planta de Conocoto; dando como resultado condiciones óptimas de dosificación con las cuales se pueden realizar pruebas de sedimentación; para esto se realizó la construcción de una torre de sedimentación cuyo procedimiento se tomó de la bibliográfica respectiva, para posteriormente con estos resultados calcular la velocidad de sedimentación y el rediseño del clarificador.
- **Estudio en la etapa de filtración y retrolavado:** Con todos los resultados obtenidos y con un análisis exhaustivo de los filtros y el proceso de retrolavado, se realizó una gama de cálculos y recomendaciones que, complementado con un balance de masa llevaron finalmente a una propuesta que resuelva el objetivo principal de este trabajo.

2.1.2 Diagrama del proceso experimental.



2.1.3 Localización de la Planta de Tratamiento de Conocoto. La Planta de Conocoto se encuentra localizada en la zona Ontaneda Alto vía antigua de Conocoto.



**Figura 19. Mapa de Ubicación (Vista Satelital)
Planta de tratamiento de agua potable en Conocoto**

2.2 Descripción de la planta de tratamiento de agua potable de Conocoto

La planta de tratamiento de Conocoto es una planta de tipo convencional, tiene 19 años de funcionamiento ya que se inauguró en el año de 1994. Está ubicada en la zona Ontaneda Alto y tiene una capacidad de tratamiento de 210 l/s.

El origen del agua cruda comienza en los suministros de aguas superficiales de las zonas de río Pita y del Cotopaxi. Esta agua cruda es conducida hacia la planta de tratamiento de Puengasí por medio de canales revestidos de tierra estabilizada con cemento, túneles y conductos sostenidos por puentes, etc.

Existe una derivación en el canal de conducción antes mencionado, la que constituye el ingreso de agua cruda hacia la planta de Conocoto, el agua es conducida a través de una tubería de diámetro de 400mm, en una distancia de 600m en dirección oriente, hasta llegar a la válvula de compuerta de ingreso de agua cruda ubicada ya en las instalaciones de la planta de Conocoto.

El diseño contempla dos módulos de tratamiento de 210 l/s cada uno, el diseño y la construcción actual se circunscribe al primer módulo, dejando previsto el área para la ampliación futura.

La planta de tratamiento es de tipo convencional con los procesos de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección.



Figura 20. Planta de tratamiento de agua potable en Conocoto

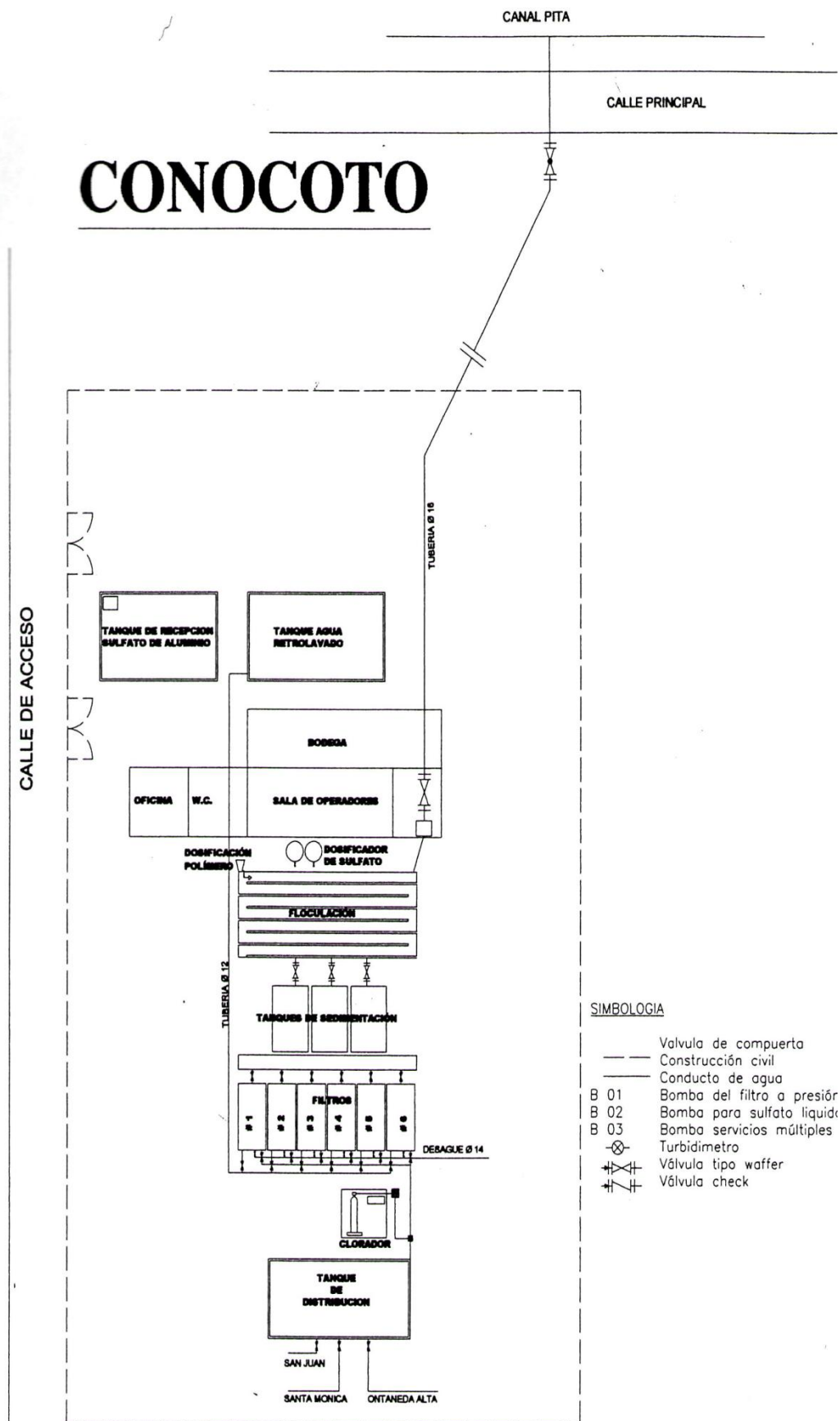
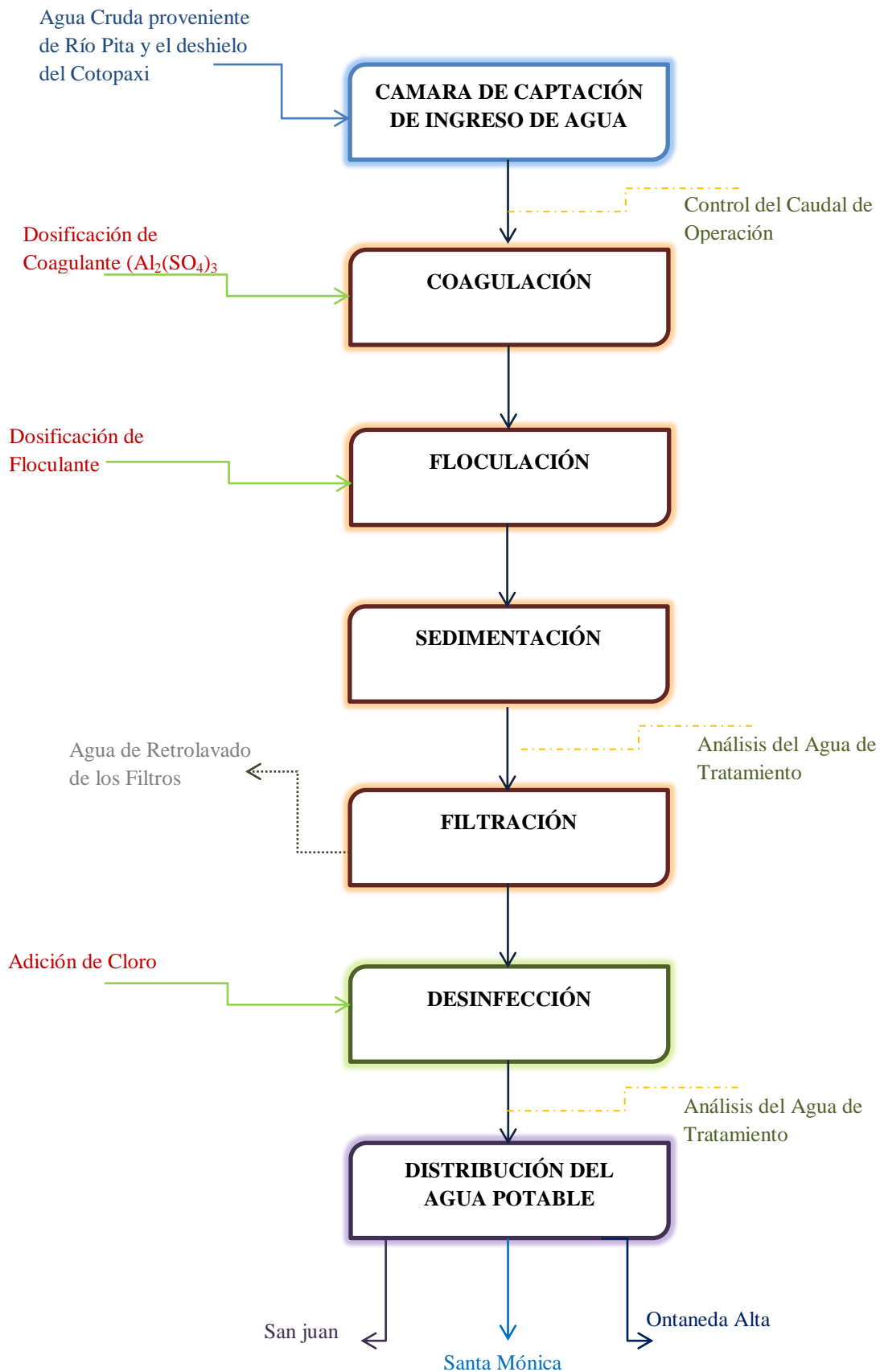


Figura 21. Esquema de la planta de tratamiento de agua potable de Conocoto

2.2.1 Diagrama de flujo del proceso de la Planta de Tratamiento de Agua de Conocoto.



2.2.2 Unidades de la planta

- Mezcla rápida de tipo hidráulico con vertedero rectangular (una unidad) Dimensiones: 0.62m x 0.90m.
- Floculación de tipo hidráulica con pantallas de hormigón (una unidad).
- Sedimentación mediante módulos de alta tasa (tres unidades). Área de cada sedimentador 47.5m².
- Filtración rápida (seis unidades). Dimensiones: 3.10m x 3.90m. Área de filtración es de 12.1m² cada unidad
- Desinfección (una unidad). Es un sistema de dosificación automático manual.

La planta está en servicio desde diciembre de 1994 y actualmente está trabajando con un caudal promedio de 210 l/s.

2.3 Procedimiento de Operación

2.3.1 Ingreso de agua cruda. La toma del agua cruda se la efectúa en el canal de Pita mediante una tubería de acero de 400 mm de diámetro, la que atraviesa la pared del canal.



Figura 22. Canal de conducción de agua hacia la planta de Conocoto

El caudal captado es controlado por una válvula de mariposa accionada por un actuador eléctrico; esta válvula está ubicada en una cámara de hormigón armado que actúa como rompe presión y cajón de carga de la conducción.

La válvula que permite controlar el ingreso de agua cruda a la planta de tratamiento de Conocoto se encuentra localizada cerca del canal de Pita. Esta válvula puede ser operada automáticamente o manualmente.



Figura 23. Canal de ingreso (Cámara de hormigón)

2.3.1.1 Operación automática. El operador sube al cajón donde se encuentra localizada la válvula y pone el switch en automático.

El caudal de ingreso a la planta es regulado mediante el actuador eléctrico localizado en la válvula y se lo realiza desde el interior de la planta mediante un panel de mando a distancia.

La apertura o cierre de la válvula se realiza paulatinamente para evitar que el ingreso del agua cruda sea brusco.

2.3.1.2 Operación manual. El operador sube al cajón donde se encuentra localizada la válvula y pone el switch en manual. El caudal de ingreso a la planta es regulado mediante la apertura o estrangulamiento de la válvula. La apertura o cierre de la válvula se realiza paulatinamente para evitar que el ingreso del agua cruda sea brusco.

2.3.2 Dosificación de sulfato de aluminio líquido y polímero. Cada uno de los grupos de operación está constituido por dos personas que laboran de 08h00 a 17h00 y de 17h00 a 08h00.

En cada cambio de turno, el grupo saliente entrega el turno al grupo entrante, registrándose los principales datos operativos en los formularios “Control diario de operación” y “Control de calidad del agua”, los mismos que servirán para tomar acciones correctiva en la dosificación de productos químicos, de ser necesario.

2.3.2.1 Medición de pH, color y turbiedad. Cada dos horas durante el día, el personal de operación debe realizar las determinaciones de pH, color y turbiedad del agua cruda, sedimentación y de distribución, registrando estos datos en el formulario “Control de calidad del agua”. Estos análisis se hacen sustentados en instructivos de determinación y en los equipos de medida correspondientes.

2.3.2.2 Pruebas de jarras. La prueba de jarras se realiza por los grupos de operación en los siguientes casos:

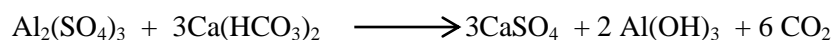
- En cada cambio de turno para verificar las dosis de los químicos aplicados.
- En casos de existir variación en la turbiedad y/o color del agua a distribución, sobrepasando los valores normados para su uso como agua potable.
- En casos de existir variación en la turbiedad y/o color del agua cruda y que afecte en el tratamiento del agua.

Por lo tanto, la prueba de jarras se realizará como mínimo una vez por turno y las veces que sean necesarias en función de la calidad del agua a distribución o cuando el grupo de operación de turno lo considere conveniente.

De acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas de jarras, se procederá a dosificar en la planta el sulfato de aluminio y el polímero.

2.3.2.3 Dosificación de sulfato de aluminio líquido. El operador debe conocer previamente el caudal de tratamiento, el cual está registrado en el panel del mando a distancia ubicado al interior del edificio de químicos. Estos datos constan en el formulario “Control diario de operación”.

La dosificación del sulfato de aluminio líquido se realiza volumétricamente; los dosificadores mantienen el nivel mediante flotadores verticales y el sulfato de aluminio líquido proviene a gravedad desde un tanque de almacenamiento. Y la reacción que se produce es:



Para obtener el volumen necesario de sulfato de aluminio líquido que debe ser aplicado, el grupo de operación utiliza la siguiente fórmula.

$$V = \frac{Q \times D \times T}{1000 \times d} \quad (19)$$

Dónde:

V = Volumen de sulfato de aluminio líquido aplicado en un determinado tiempo en ml.

Q = Caudal de tratamiento en l/s.

D = Dosis óptimo de sulfato de aluminio líquido obtenida de la prueba de jarras en mg/l.

T = Tiempo en segundos.

d = Densidad del sulfato de aluminio líquido (1.314 g/ml)

1000 = Factor de transformación de gramos a miligramos.

Las dosificaciones de sulfato de aluminio líquido de acuerdo a diferentes caudales se encuentran registradas en la tabla “Dosificación de sulfato de aluminio líquido en función del caudal de ingreso y dosis óptima” y se anotarán en los formularios “Control diario de operación” y “Control de calidad del agua”. Para casos emergentes, se cuenta con dos esferas de fibra de vidrio de 1.57 m³ cada una para almacenar sulfato de aluminio líquido, para lo cual se manipulan válvulas y las esferas son llenadas desde el tanque de almacenamiento.

2.3.2.3.1 Cálculo tipo para la dosificación de sulfato de aluminio. Para un caudal de 180 l/s y una dosis óptima de 85 mg/l, el volumen de sulfato de aluminio líquido necesario en 15 segundos, será de:

$$V = [(180 \text{ l/s}) \times (85 \text{ mg/l}) \times (15\text{s})] / [(1000 \text{ mg}) \times (1.314 \text{ g/ml})] = 175 \text{ ml}$$

Que deben ser aforados en 15 segundos.



Figura 24. Dosificación de coagulante

La mezcla rápida se origina en el canal de entrada del agua cruda a la planta, en el sitio en que se produce la mayor turbulencia (agitación brusca), lugar donde es añadido el coagulante. Una vez que se ha añadido el coagulante y se produce la mezcla rápida, la coagulación ocurre en el canal existente entre la mezcla rápida y el floculador.

2.3.2.4 Dosificación de polímero (LIPESA 1560 PWG /FLOCULANTE). Que es un Copolímero de amida acrílica y un derivado de ácido acrílico de alto peso molecular.

El operador debe conocer previamente el caudal de tratamiento, el cual está registrado en el panel del mando a distancia ubicado en el interior de edificio de químicos. Para este proceso se cuenta con 2 tanques de 220 l de capacidad cada uno; mientras el uno se encuentra funcionando el otro está en espera para entrar en funcionamiento cuando el otro se paralice.

Para la preparación de la solución de polímero en planta, se llena el tanque con agua hasta la tercera parte y a continuación se agrega lentamente el polímero (1500g), el mismo que es añadido mediante un embudo, por el cual también va agua para evitar la formación de grumos; el tanque debe ser lleno a su máxima capacidad, con esto se consigue una solución con una concentración aproximada de 10g/l. El operador procede a batir la mezcla en forma manual aproximadamente unos 45 a 60 minutos, evitando que se formen grumos. Una vez preparado el polímero, el operador abre la llave dosificadora y mide la cantidad de polímero que debe caer en función del caudal que ingresa y en un tiempo preestablecido, según la tabla “Dosificación de polímero en función del caudal de ingreso y dosis óptima. Estos datos se registrarán en los formularios “Control diario de operación” y “Control de calidad del agua”.

2.3.2.4.1 Cálculo tipo para la dosificación de polímero. En resumen, para la dosificación de polímero se cuenta con la siguiente fórmula.

$$V = \frac{Q \times D \times T}{C} \quad (20)$$

Dónde:

V = Volumen de la solución de polímero que resulta de aplicar en un determinado tiempo en ml.

Q = Caudal de tratamiento en l/s.

D = Dosis óptima de polímero en mg/l

t = Tiempo en segundos

C = Concentración de la solución de polímero en g/l

Por ejemplo, para un caudal de 180 l/s, una dosis óptima de polímero de 0.15 miligramos por litros, en un tiempo de aforo de 15 segundos y una concentración de la solución de polímero de 10 g/l resulta:

$$V = [(180 \text{ l/s}) \times (0.15 \text{ mg/l}) \times (15\text{s})] / 10 \text{ g/l} = 40.5 \text{ ml}$$

Esto significa que durante 15 segundos debe caer en la probeta de aforo 54 mililitros de la solución de polímero.



Figura 25. Dosificación de polímero

El floculador es de tipo hidráulico, de flujo horizontal y de 2 zonas. La segunda zona con una velocidad menor al de la primera, esto con el objeto de conseguir la formación de los flóculos.

El polímero es añadido dentro de la primera zona de floculación en un punto ya determinado para su aplicación y se lo realiza en forma directa y puntual.

2.3.3 Sedimentación. Para la sedimentación se cuenta con 3 sedimentadores, los que están provistos de seditubos para mejorar la sedimentación.

La recolección del agua sedimentada es mediante flautas superficiales que recogen el agua sobrenadante y el mantenimiento y lavado de cada sedimentador se lo realiza cada 15 días, para lo cual se siguen los siguientes pasos:

- Cerrar el ingreso del agua floculada al sedimentador.
- Abrir la válvula de desagüe del sedimentador y vaciarlo completamente.

- Se lavan tanto los seditubos como las paredes del sedimentador con cepillos y con chorro de manguera.
- Se prepara una solución concentrada de hipoclorito de calcio al 33% para desinfectar y asegurar el mantenimiento de las paredes (actividad mensual).
- Cerrar la válvula de desagüe del sedimentador.
- Abrir la válvula de ingreso del agua floculada al sedimentador.

La descarga de lodos se realiza todos los días en los tres sedimentadores, uno a la vez; para lo cual se siguen los siguientes pasos:

- Cerrar el ingreso del agua floculada al sedimentador.
- Abrir la válvula de desagüe del sedimentador durante un tiempo de 2 minutos y dejar que se desagüe los lodos.
- Cerrar la válvula de desagüe del sedimentador.
- Abrir la válvula de ingreso del agua floculada al sedimentador.



Figura 26. Sistema de Sedimentadores

2.3.4 Filtración de agua sedimentada. Un filtro sale de operación para ser lavado cuando éste ha cumplido la carrera de filtración promedio. Esta carrera de filtración está en función de la calidad del agua.

2.3.4.1 Salida de operación de un filtro.

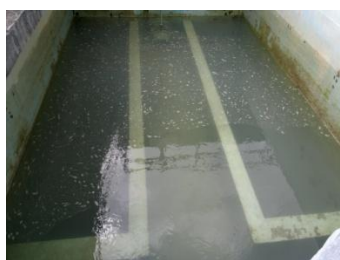
- Anotar la hora de salida de operación del filtro.
- Cerrar la válvula de entrada del agua sedimentada al filtro.
- Cerrar la válvula a distribución.



Figura 27. Sistema de filtración

2.3.4.2 Lavado de filtro.

- Antes y después del lavado del filtro, los operadores deben anotar el nivel del agua en el tanque para retrolavado y así calcular el volumen de agua que se gastó durante el lavado, valor que es registrado en el formulario “Control de operación de filtros”
- Abrir la válvula de desagüe del filtro.
- Abrir la válvula de desagüe del fondo falso y dejar que el nivel del agua en el filtro baje unos 10 a 15 cm sobre el nivel de la antracita. Se debe tener cuidado de no dejar secar completamente el filtro para impedir el ingreso de aire al lecho filtrante.
- Cerrar la válvula de desagüe del fondo falso.
- Lavar las paredes del filtro con cepillos y con chorro de manguera.
- Abrir la válvula de ingreso del agua de retrolavado lentamente girando el volante 8 vueltas continuas.
- El retrolavado dura aproximadamente 8 minutos o hasta que se observe que el agua esté completamente clara.
- Cerrar la válvula de retrolavado.
- Cerrar la válvula de desagüe.



1



2



3



4



5



6

Figura 28. Etapas del Retrolavado de filtros

2.3.4.3 Puesta en operación de un filtro previamente lavado.

- Verificar que la válvula de desagüe esté bien cerrada.
- Abrir la válvula de ingreso del agua sedimentada hasta que se estabilice el nivel del agua en todos los filtros.
- Abrir lentamente la válvula a distribución.

Anotar la hora de iniciación de la puesta en operación del filtro, la cantidad de agua utilizada para el retrolavado y el tiempo que estuvo fuera de funcionamiento. Estos datos se registran en el formulario “Control de operación de filtros”.

2.3.5 Desinfección de agua filtrada. El operador debe conocer previamente el caudal de tratamiento, el cual está registrado en el panel del mando a distancia ubicado en el interior del edificio de químicos.

La desinfección en el planta de Conocoto es mediante la adición de cloro, ya sea en forma de cloro gas o en una solución de hipoclorito de calcio. Por daño en el dosificador de cloro gas, falla en la producción del vacío o falta de cloro gas, se utilizará la solución de hipoclorito de calcio al 33%.

La dosis de cloro gas es aproximadamente de 2 lb/hora y varía en función de la calidad del agua y del caudal de ingreso. La dosificación del hipoclorito de calcio es mediante la preparación de una solución con una concentración aproximada de 32 g/l (disolviendo 7000 g de hipoclorito en 220 l de agua) y varía en función de la calidad del agua y del caudal de ingreso.

El parámetro de control de la dosis de cloro, es el cloro residual, valor que tiene que estar entre 1.0 – 1.5 mg/l. El cloro residual es tomado y registrado cada dos horas en el formulario “Control de calidad del agua”.

2.3.5.1 Procedimiento para retiro de operación de cilindros:

- Verificar que se haya terminado el contenido de gas cloro en los cilindros. Esto se consigue comprobando que las balanzas marquen cerca de cero y/o que no exista reducción en la lectura de la balanza en un tiempo determinado.
- Se realiza el cambio, una vez que se ha terminado el contenido del cilindro.
- Cerrar las válvulas de salida del cilindro de cloro vacío.

- Aflojar el perno de seguridad, sacar la tubería de cobre.
- Se retira el cilindro vacío a la zona de almacenamiento utilizando el puente grúa provisto de un polipasto.

2.3.5.2 Procedimiento para poner en operación los cilindros:

- Colocar el cilindro lleno en la balanza utilizando el puente grúa provisto de un polipasto.
- Colocar la tubería de cobre y ajustar los pernos de seguridad, cambiando previamente el empaque de plomo en la válvula de seguridad, siempre con empaque nuevo.
- Mantener la presión de agua hasta producir vacío en el inyector.
- Verificar que no existan fugas de cloro gas en los cilindros, válvulas y tuberías con una solución de hidróxido de amonio (cuando existen fugas de cloro gas se produce una reacción entre el gas y el hidróxido, obteniéndose una nube blanca [Sal de amonio]).

Aproximadamente, después de media hora de haber empezado a dosificarse cloro, se toma una muestra de agua en la salida del tanque a distribución para medir el cloro residual y proceder o no a los correctivos en la dosis.



Figura 29. Cilindros de cloro gas

2.3.6 Sistema de distribución y retrolavado de filtros. El operador debe conocer previamente el caudal de tratamiento que es registrado en el medidor de caudal de ingreso a la planta, para controlar los caudales que se envían a distribución, estos datos constan en el formulario “Control diario de operación”.

Con la lectura del medidor magnético en l/s tanto de San Juan como de Santa Mónica, se regulará el caudal mediante la apertura o cierre de las válvulas de control de salida del tanque de distribución. La distribución a Ontaneda se realizará contando las vueltas de la válvula de control de salida.

Los operadores de la planta verificarán la altura de las dos celdas del tanque de distribución (San Juan y Sta. Mónica), para regular el caudal de procedimiento y el de distribución. Dichos valores se anotarán cada hora. Las dos bombas para retrolavado se controlan por medio de dos arrancadores eléctricos directos, los que tienen funciones de arranque manual y arranque automático. El sistema de llenado del tanque elevado para retrolavado de filtros, trabaja automáticamente, por lo que los operadores deben verificar su funcionamiento.

Si el sistema automático fallara, se debe hacer trabajar las bombas en forma manual. De ocurrir desperfectos, el grupo de operación de turno, comunica al personal de mantenimiento del Sistema para que realicen las respectivas correcciones. [37]



- Válvulas de color azul: Controlan el flujo de retrolavado.
- Válvulas de color celeste. Controlan el flujo de distribución
- Válvulas de color café. Controlan el flujo hacia los drenajes.

Figura 30. Cámaras de válvulas de distribución

3.2.7 Problemas Operacionales de la Planta de Agua Potable. Si bien la Planta funciona con normalidad actualmente, existen zonas en donde puede hacerse un reajuste para obtener como resultado una mejor eficiencia de la Planta y una solución al problema planteado. Empezando con el sistema de dosificación, el cual debe hacerse con una mejor infraestructura y de una manera más exacta; complementario a esto un rediseño del clarificador que permita una optimización de los procesos; adicional, medidores de pérdida de presión en los filtros; y finalmente un filtro prensa en la zona de descarga de agua de retrolavado, que permita separar los sólidos suspendidos del agua para un posterior tratamiento de estos lodos.

2.4 Diseño experimental

Se parte de un sistema de muestreo realizado durante un periodo de cuatro meses; una vez obtenida la muestra de agua cruda se procedió a realizar pruebas de jarras a diferentes concentraciones y con variación de coagulante; para tener como resultado una gama de datos que permitieron realizar una comparación ensayos realizado - datos de informes de la planta.

De cada prueba de jarras se realizó la medición de los parámetros más importantes y registrados en los informes de datos de la planta de Conocoto como son: pH, Color, Turbiedad y se añadió la medición de la conductividad y de los sólidos en suspensión, con el fin de tener un registro de datos más amplio que ayuden en el análisis del problema.

Una vez obtenida las mejores condiciones de dosificación en la etapa de clarificación, se tabularon los datos y realizó la medición de todos los análisis fisicoquímicos para al final tener una comparación de datos que permitan hacer un estudio de la eficiencia de la etapa clarificación.

Como parte complementaria, se construyó una columna de sedimentación a nivel de laboratorio, con altura y diámetro determinado que dispone de una serie de aberturas a distancias predeterminadas para toma de muestras en un tiempo establecido; los datos obtenidos de esta experimentación sirvieron para el cálculo de la velocidad de sedimentación, el tiempo de residencia y la concentración de sólidos suspendidos a cada profundidad establecida.

Finalmente un análisis de los filtros y el tiempo de retrolavado permitieron realizar un balance de masa y una propuesta de un nuevo cronograma de lavado de filtros.

2.4.1 Materiales y Equipos

2.4.1.1 Sustancias y reactivos para la prueba de jarras.

- | | |
|--|--|
| ▪ Sulfato de Aluminio | $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ |
| ▪ Policloruro de Aluminio | $\text{Al}(\text{OH})_2\text{Cl} \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$ |
| ▪ Polímero LIPESA 1560 PWG | $\text{CH}_2\text{CHCONH}_2$ |
| ▪ Agua cruda (planta de Conocoto) | $(\text{H}_2\text{O})_1$ |
| ▪ Reactivos para la determinación de los parámetros fisicoquímicos | |

2.4.1.2 Sustancias y reactivos para la columna de sedimentación de laboratorio.

- | | |
|-----------------------------------|------------------------------|
| ▪ Sulfato de Aluminio | $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ |
| ▪ Polímero LIPESA 1560 PWG | $\text{CH}_2\text{CHCONH}_2$ |
| ▪ Agua cruda (planta de Conocoto) | $(\text{H}_2\text{O})_1$ |

2.4.1.3 Materiales y equipos para la prueba de jarras.

- Equipo de prueba de jarras (Que consiste en un set de agitadores mecánicos controlados por un aparato que regula su velocidad y una lámpara de iluminación).
- Vasos de precipitación (8) (V= 1000mL) (Ap= ±100mL)
- Vasos de precipitación (6) (V= 250mL) (Ap= ±50mL)
- Vasos de precipitación (6) (V= 80mL) (Ap= ±20mL)
- Probetas (2) (V= 100mL) (Ap= ±1mL)
- Pipetas (2) (V= 10mL) (Ap= ±0.1mL)
- Jeringas (4) (V= 10mL) (Ap= ±0.5mL)
- Jeringas (4) (V= 5mL) (Ap= ±0.2mL)
- Jeringas (4) (V= 3mL) (Ap= ±0.1mL)
- Turbidímetro HACH 2100
- Espectrofotómetro MERK
- Medidor de pH y conductividad
- Espectrofotómetro HACH
- Balanza analítica R (0 - 210) g (Ap ± 0.0001g)
- Agitadores

2.4.1.4 Materiales y equipos para la prueba de la columna de sedimentación.

- Tubo de PVC (L=2m; D_{ex} = 16.1cm; e = 3mm)
- Válvulas de bola (5) (D = ½ pulg)
- Neplos (5) (D = ½ pulg)
- Pega para tubería
- Teflón
- Base metálica
- Recipiente de plástico (V = 40L)
- Agitador de madera
- Vasos de precipitación (4) (V = 250mL) (Ap= ±50mL)
- Embaces plásticos (60) (V = 250mL)
- Flexometro (L= 300 cm) (Ap= ±1mm)

2.4.2 Procedimiento para la prueba de jarras.

- Determinar de la muestra de agua bien homogenizada, el color, la turbiedad, el pH, la conductividad y los sólidos suspendidos. Asegurarse de que el pH de la muestra se halle comprendido entre el rango [6,5-8,0] (dependiendo del producto coagulante que se vaya a utilizar).
- Medir cuatro porciones de un litro de muestra cruda, cada uno en vasos de 1000 ml y colocarlos en el equipo de jarras.
- Encender la lámpara, poner a funcionar los agitadores y estabilizar su rotación a 100 rpm.
- Dosificar el coagulante seleccionado en forma creciente y simultáneamente en todos los vasos, desde una concentración mínima de 30 mg/l hasta un límite superior que será determinado por las características del agua.
- Mantener la agitación de las aspas a 100 rpm. durante un minuto (mezcla rápida o coagulación).
- Luego dosificar el floculante catiónico seleccionado en forma constante y simultáneamente en todos los vasos, a una concentración de 0.15mg/l.
- Mantener la agitación de las aspas a 100 rpm. durante otro minuto y luego bajar la velocidad de agitación a 40 rpm y mantener durante 20 minutos más (mezcla lenta o floculación).
- Una vez transcurridos los 20 minutos de agitación lenta, suspender la agitación, retirar los agitadores de los vasos y dejar en reposo por 20 minutos.
- De cada jarra, tomar muestras y realizar el análisis de los mismos parámetros de inicio, con el fin de determinar la dosis óptima, que será la jarra donde los valores de color y turbiedad sean los más bajos.

2.4.3 Procedimiento para la prueba de la columna de sedimentación.

- Colocar un tapón en cualquiera de los extremos del tubo de 2m de longitud.
- Una vez taponado uno de los extremos, colocar una base de metal previamente construida para que el tubo tenga estabilidad y firmeza.
- Luego con la ayuda de un flexómetro medir distancias de 0.4m en el tubo, e ir señalando cada punto.
- En cada punto señalado realizar perforaciones y unir los acoplamientos con las válvulas, dejar secar un tiempo mínimo de 1 día
- Ensamblada la torre; colocar la muestra de agua cruda en la columna conjuntamente con el coagulante y floculante, posteriormente realizar una agitación rápida y lenta a 100 y 40 r.p.m. respectivamente
- Luego de un periodo de floculación (20 min) tomar muestras a diferentes alturas y en tiempos establecidos, finalmente medir el contenido de los sólidos suspendidos.



Figura 31. Columna de sedimentación a nivel de laboratorio

2.4.4 Preparación de la solución de coagulante y determinación del tipo de coagulante.

2.4.4.1 Sulfato de aluminio solución al 10% [V/V] (solución madre). Se obtiene a partir de la muestra de Sulfato de Aluminio que se encuentra almacenado en los tanques; para la preparación se tiene en cuenta la densidad del Sulfato de Aluminio que es = 1.32 gr./c.c. Se toma 76 ml. de la muestra de Sulfato de aluminio y se coloca en un vaso de 1000 ml. Y se procede a enrasar con agua destilada. Esta solución tiene una duración de 15 días; después del cual se desecha y se prepara otra nueva solución con el mismo procedimiento. Esta solución debe ser conservado en un recipiente de color oscuro y debe tener una etiqueta en el que se indiquen: la concentración; fecha de preparación y fecha de vencimiento.

2.4.4.2 Sulfato de Aluminio Solución al 1%. Esta solución se obtendrá tomando un volumen de 10 ml. de la solución Madre de sulfato de aluminio solución al 10 %, se coloca en un vaso de 100ml. luego se enrasa con agua destilada, se agita y se deja reposar unos 5 minutos antes de utilizarla. Esta solución se prepara diariamente, la que es utilizada en las pruebas de jarra; la solución residual se desecha. [38]

2.4.4.3 Procedimiento para la determinación del coagulante y la dosis óptima del mismo. En estas pruebas se trabaja con dos tipos de coagulante pertenecientes a las sales de aluminio. (Sulfato de aluminio y Policloruro de aluminio).

- Como primer punto, medir los parámetros de pH, color, turbiedad, conductividad y sólidos suspendidos de la muestra cruda; es importante que el pH se encuentre en el rango de 6-7.4, debido a que se trabaja con una sal de aluminio.
- Una vez que el equipo este encendido y la rotación de las paletas estabilizadas en 100 rpm, colocar en cuatro vasos de 1000 ml un volumen de 1 litro de la muestra y colocar las paletas en medio de cada vaso, tratando de que las aspas no topen el borde del vaso.
- Se empezará trabajando con el Sulfato de aluminio, y una vez ya preparada la solución al 1% adicionar el coagulante en forma creciente y simultáneamente en todos los vasos, desde una concentración de 30 mg/l hasta un límite que será determinado por las características del agua.
- Luego de esto, empezará la mezcla rápida por un minuto, mantenga la rotación en 100rpm.
- Transcurrido el minuto, adicionar el polímero previamente preparada la solución al 1%. a una concentración constante de 0.15 mg/l y permitir que transcurra un minuto más manteniendo la misma rotación en los agitación.
- Luego del minuto, disminuya las revoluciones a 40 por un periodo de 20 min.
- Terminado este periodo, retirar los agitadores y dejar en reposo por 20 min.

- Transcurrido el tiempo de sedimentación, tomar una muestra y realizar los ensayos respectivos, como son pH, color, turbiedad, conductividad y sólidos suspendidos.
- Repetir el procedimiento con el otro coagulante.

Una vez que se tenga los resultados de todos los ensayos; el coagulante óptimo, será en cual los valores de color y turbiedad sean los más bajos.

Y de este coagulante óptimo, se escogerá la concentración a la cual los valores de turbiedad, color y sólidos suspendidos sean menores, teniendo como resultado la dosis óptima del coagulante óptimo.

2.4.5 Preparación de la solución de floculante y determinación de su eficiencia.

2.4.5.1 Solución de Polímero Cationico al 0.1% [p/V]. La solución se obtiene a partir de la muestra de Polímero Cationico que se extrae de los cilindros almacenados en las Plantas. Se pesa en la Balanza Analítica 0.5 gr. de la muestra de Polímero y se coloca en un vaso de 500 ml con agua y se va agitando hasta obtener una solución uniforme; luego se enrasa con agua destilada. De esta solución se toman los volúmenes a utilizar en las pruebas de jarras; el tiempo de conservación es no más de una semana.

2.4.5.2 Solución de Polímero Aniónico al 0.1 %. Si fuera el caso en donde se utiliza un polímero aniónico el procedimiento para preparar la solución al 1% es el siguiente:

Se pesa en la Balanza Analítica 1g. de la muestra de Polímero se coloca en un vaso con agua, se procede a disolver con agua destilada utilizando un equipo de agitación magnética hasta que la solución se encuentre homogénea y luego se coloca en la vaso de 1000 ml., para luego enrasa con agua destilada Esta solución es la que se utiliza en los ensayos y tiene un tiempo de duración no mayor de 1 semana. [39]

2.4.5.3 Procedimiento para determinar la dosis óptima de floculante.

- Es importante siempre antes de cada prueba medir los parámetros de pH, turbiedad, color, conductividad y sólidos suspendidos, es decir la condiciones de la muestra inicial (agua cruda).
- Con el equipo encendido y estabilizadas las revoluciones a 100, colocar los agitadores en los vasos de 1000 ml que previamente ya deben llevar un volumen de 1 litro de muestra cada uno.

- La dosificación del coagulante será constante, y la concentración a la cual se trabajará será la determinada anteriormente como óptima, y luego de colocar el coagulante dejar por un minuto en una mezcla rápida a 100rpm.
- Adicionar el polímero en dosis creciente desde 0mg/l hasta 2.5mg/l como rango establecido y dejar por un minuto más a las condiciones de agitación.
- Transcurrido el minuto disminuir la rotación de las paletas a 40 rpm. por un tiempo de 20min.
- Terminado el periodo de tiempo, quitar los agitadores y dejar sedimentar por 20 min más.
- Finalmente, medir los parámetros característicos de pH, turbiedad, color, conductividad y sólidos suspendidos.

La concentración de floculante óptimo será la jarra a la cual los valores de color, turbiedad y sólidos suspendidos sean los menores.

2.4.6 Gradiente y tiempo óptimo de floculación. El propósito de este ensayo es la determinación de los parámetros de floculación: gradiente y tiempo de floculación óptimos, en función de las dosis de coagulantes.

2.4.6.1 Procedimiento del ensayo para determinar tiempos y gradiente óptimos.

- Realizar la medición de parámetros característicos, pH, turbiedad, color, conductividad y sólidos suspendidos.
- Con el equipo estabilizado en 100 rpm, colocar en 4 vasos de 1000ml la muestra de agua cruda un volumen de 1 litro.
- Adicionar el coagulante del cual se obtuvo los mejores resultados, a la concentración óptima y luego de un minuto el floculante a la concentración determinada como óptima, a una rotación de 100 rpm.
- En este ensayo considerar gradientes de velocidad de $[26 \text{ y } 42] \text{ s}^{-1}$, mientras que los tiempos de floculación aplicados se presentan en la tabla 3.
- Finalmente una vez tomada la muestra medir los parámetros de pH, turbiedad, color, conductividad y sólidos suspendidos.

Tabla 3. Secuencia de ejecución para parámetros óptimos de floculación

Tiempo (min)	Acción por ejecutar	
0	Comienza la floculación al gradiente seleccionado.	
7	Se levanta el agitador del vaso No.1	Floculación = 7 min.
13	Se levanta el agitador del vaso No.2	Sedimentación = 10 min.
17	Se toma la muestra del vaso No.1	Floculación = 17 min.
20	Se levanta el agitador del vaso No.3	Sedimentación = 10 min.
23	Se toma la muestra del vaso No.2	Floculación = 23 min.
27	Se levanta el agitador del vaso No.4	Sedimentación = 10 min.
30	Se toma la muestra del vaso No.3	Floculación = 30 min.
33	Se levanta el agitador del celda No.5	Sedimentación = 10 min.
37	Se toma la muestra del celda No.4	Floculación = 37 min.
40	Se levanta el agitador del celda No.6	Sedimentación = 10 min.
43	Se toma la muestra del celda No.5	Floculación = 43 min.
50	Se toma la muestra del celda No.6	Sedimentación = 10 min.

Fuente: ARBOLEDA. Jorge, “Teoría y práctica de la purificación del agua” p. 182

2.4.7 Norma ASTM D 2035-08. Las pruebas de jarras están basadas en esta norma, por lo cual es importante conocer su contenido.

2.4.7.1 Alcance.

- Esta práctica cubre un procedimiento general para la evaluación de un tratamiento para reducir sólidos disueltos, materias en suspensión coloidal, y el tratamiento del agua por químicos de coagulación-floculación, seguido por sedimentación por gravedad. El procedimiento puede ser usado para evaluar el color, la turbidez y la reducción de la dureza.
- La práctica ofrece una evaluación sistemática de las variables que normalmente se encuentran en el proceso de coagulación-floculación.
- Esta norma no pretende abordar las preocupaciones de seguridad, en su caso, asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma para establecer la seguridad y las prácticas apropiadas de salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias antes de su uso.

2.4.7.2 Resumen de la práctica. La prueba de coagulación-floculación se lleva a cabo para determinar los productos químicos, las dosis y las condiciones necesarias para lograr resultados óptimos.

Las variables primarias para ser investigadas con la práctica recomendada incluyen, pero no se limitan a:

- Aditivos químicos,
- pH
- Temperatura, y
- Orden de adición y las condiciones de mezcla.

2.4.7.3 Significado y uso.

- Esta práctica permite la evaluación de los distintos coagulantes y ayudantes de coagulación utilizados en el tratamiento de aguas y aguas residuales de la misma agua y las mismas condiciones experimentales.
- Los efectos de la concentración de los coagulantes, ayudantes de coagulación y su orden de adición puede ser evaluada por esta práctica.

Adicionalmente para realizar la prueba de jarras se tiene un formato recomendado en el que se basará el reporte de los datos. (VER ANEXOS)

2.5 Datos Experimentales

2.5.1 Determinación de dosis óptima del coagulante Sulfato de Aluminio (Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012).

Tabla 4. Datos obtenidos en pruebas de jarras con Sulfato de Aluminio [Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012] Prueba 1

Prueba 1	Condiciones prueba de jarras				Tipo de coagulante: Sulfato de aluminio		Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)		CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA	
	Mezcla rápida: 100rpm – 1min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min						<u>MUESTRA</u>	
										pH: 7.4
	Prueba de Jarras			Agua sedimentada					Color (UC Pt-Co): 22	
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)	Turbiedad (NTU): 11.2	
1	30	0.15	4	16	0.599	7.65	225	6	Conductividad (uS/cm): 236	
2	40	0.15	6	14	0.586	7.54	220	4	Sólidos suspendidos (mg/l): 26	
3	50	0.15	6	11	0.384	7.46	232	4	Temperatura (°C): 14.3	
4	60	0.15	8	10	0.304	7.28	235	3	Fecha de Muestreo:	
										17 de Diciembre de 2012
ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones					MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 22
0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento.					1. Se puede observar como hasta el momento se tiene las mejores condiciones en la jarra 4, es decir con una dosis de 60 mg/l.					
2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible.										
4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta.										
6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento.										
8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente.										
10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.										

Tabla 5. Datos obtenidos en pruebas de jarras con Sulfato de Aluminio [Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012] Prueba 2

Prueba 2	Condiciones prueba de jarras					Tipo de coagulante: Sulfato de aluminio		Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)		CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA		
	Mezcla rápida: 100rpm – 1 min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min							<u>MUESTRA</u>		
										pH: 7.4		
	Prueba de Jarras			Agua sedimentada					Color (UC Pt-Co): 22			
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)	Turbiedad (NTU): 11.2			
1	70	0.15	8	13	0.476	7.28	229	5	Conductividad (uS/cm): 236			
2	80	0.15	6	15	0.495	7.01	224	8	Sólidos suspendidos (mg/l): 26			
3	90	0.15	4	20	0.504	7.09	213	10	Temperatura (°C): 14.3			
4	45	0.15	6	13	0.435	7.34	218	6	Fecha de Muestreo:			
											17 de Diciembre de 2012	
</												

Tabla 6. Datos obtenidos en pruebas de jarras con Sulfato de Aluminio [Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012] Prueba 3

Prueba 3	Condiciones prueba de jarras					Tipo de coagulante: Sulfato de aluminio		Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)		CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA			
	Mezcla rápida: 100rpm – 1min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min							<u>MUESTRA</u>			
										pH: 7.4			
	Prueba de Jarras			Agua sedimentada								Color (UC Pt-Co): 22	
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)				Turbiedad (NTU): 11.2	
1	55	0.15	8	10	0.355	7.34	228	4				Conductividad (uS/cm): 236	
2	65	0.15	8	10	0.402	7.08	232	5				Sólidos suspendidos (mg/l): 26	
3	75	0.15	6	14	0.481	7.14	221	6				Temperatura (°C): 14.3	
4	85	0.15	6	15	0.500	7.03	225	10				Fecha de Muestreo:	
												17 de Diciembre de 2012	

Tabla 7. Datos obtenidos en pruebas de jarras con Sulfato de Aluminio [Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012] Prueba 4

Prueba 4	Condiciones prueba de jarras								Tipo de coagulante: Sulfato de aluminio	Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)	CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA	
	Mezcla rápida: 100rpm – 1min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min								MUESTRA	
			pH: 7.4									
	Prueba de Jarras			Agua sedimentada					Color (UC Pt-Co): 22			
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)	Turbiedad (NTU): 11.2			
1	52	0.15	6	12	0.357	7.16	235	5	Conductividad (uS/cm): 236			
2	54	0.15	6	11	0.342	7.08	238	5	Sólidos suspendidos (mg/l): 26			
3	56	0.15	8	10	0.368	7.21	232	4	Temperatura (°C): 14.3			
4	58	0.15	8	10	0.318	7.11	234	4	Fecha de Muestreo:			
17 de Diciembre de 2012												
ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)						Observaciones						
0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento. 2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible. 4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta. 6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento. 8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente. 10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.						1. Se puede observar valores de turbiedad cercanos al de la concentración de 60 mg/l, cuyo valor de turbiedad es el menor hasta el momento; con el fin de tener mayor seguridad al escoger la dosis óptima, se ampliará un poco más el rango de experimentación.					MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 22	

Tabla 8. Datos obtenidos en pruebas de jarras con Sulfato de Aluminio [Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012] Prueba 5

Prueba 5	Condiciones prueba de jarras					Tipo de coagulante: Sulfato de aluminio		Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)		CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA	
	Mezcla rápida: 100rpm – 1 min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min							<u>MUESTRA</u> pH: 7.4 Color (UC Pt-Co): 22 Turbiedad (NTU): 11.2 Conductividad (uS/cm): 236 Sólidos suspendidos (mg/l): 26 Temperatura (°C): 14.3 Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012	
	Prueba de Jarras			Agua sedimentada							
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)			
1	62	0.15	8	11	0.312	7.24	230	4			
2	64	0.15	8	10	0.384	7.27	232	4			
3	66	0.15	8	12	0.409	7.20	225	5			
4	68	0.15	8	12	0.446	7.26	229	6			
ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones						
0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento. 2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible. 4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta. 6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento. 8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente. 10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.					1. Después del análisis de los resultados, se puede observar que la dosis óptima para estas condiciones es 60 mg/l						MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 22

2.5.2 Determinación de dosis óptima del coagulante Sulfato de Aluminio (Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013).

Tabla 9. Datos obtenidos en pruebas de jarras con Sulfato de Aluminio [Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013] Prueba 1

Prueba 1	Condiciones prueba de jarras								Tipo de coagulante: Sulfato de aluminio	Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)	CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA
	Mezcla rápida: 100rpm – 1min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min								MUESTRA
	Prueba de Jarras			Agua sedimentada					Color (UC Pt-Co): 18		
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)	Turbiedad (NTU): 12.5		
1	30	0.15	4	15	0.630	7.52	207	10	Conductividad (uS/cm): 228		
2	40	0.15	6	14	0.489	7.87	211	8	Sólidos suspendidos (mg/l): 24		
3	50	0.15	6	14	0.378	7.73	204	8	Temperatura (°C): 13.6		
4	60	0.15	8	10	0.259	7.71	212	6	Fecha de Muestreo:		
04 de Enero de 2013											
ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)						Observaciones					
0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento.						1. Se puede observar como hasta el momento se tiene las mejores condiciones en la jarra 4, es decir con una dosis de 60 mg/l.					
2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible.											
4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta.											
6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento.											
8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente.											
10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.											
MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 24											

Tabla 10. Datos obtenidos en pruebas de jarras con Sulfato de Aluminio [Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013] Prueba 2

Prueba 2	Condiciones prueba de jarras					Tipo de coagulante: Sulfato de aluminio		Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)		CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA	
	Mezcla rápida: 100rpm – 1 min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min							<u>MUESTRA</u> pH: 7.62 Color (UC Pt-Co): 18 Turbiedad (NTU): 12.5 Conductividad (uS/cm): 228 Sólidos suspendidos (mg/l): 24 Temperatura (°C): 13.6 Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013	
	Prueba de Jarras		Agua sedimentada								
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)			
1	70	0.15	8	12	0.242	7.62	206	7			
2	80	0.15	6	15	0.323	7.51	211	8			
3	90	0.15	4	20	0.359	7.46	217	12			
4	45	0.15	6	15	0.312	7.64	204	9			
ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones						
0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento.					1. Luego de observar los resultados, se reducirá los rangos de concentración, para tener una visualización superior de las mejores condiciones de dosificación.						
2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible.											
4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta.											
6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento.											
8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente.											
10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.											
MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 24											

Tabla 11. Datos obtenidos en pruebas de jarras con Sulfato de Aluminio [Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013] Prueba 3

Prueba 3	Condiciones prueba de jarras								Tipo de coagulante: Sulfato de aluminio	Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)	CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA	
	Mezcla rápida: 100rpm – 1 min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min								<u>MUESTRA</u>	
												pH: 7.62
	Prueba de Jarras		Agua sedimentada							Color (UC Pt-Co): 18		
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)	Turbiedad (NTU): 12.5			
1	55	0.15	8	13	0.271	7.76	208	7	Conductividad (uS/cm): 228			
2	65	0.15	8	9	0.221	7.38	210	5	Sólidos suspendidos (mg/l): 24			
3	75	0.15	6	14	0.269	7.53	205	9	Temperatura (°C): 13.6			
4	85	0.15	6	16	0.310	7.43	214	10	Fecha de Muestreo:			
											04 de Enero de 2013	
ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones							
0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento. 2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible. 4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta. 6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento. 8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente. 10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.					1. Los resultados en esta tabla nos dan una clara visualización para saber que la dosis óptima se entra en el rango de 60 – 70 mg/l.							
MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 24												

Tabla 13. Datos obtenidos en pruebas de jarras con Sulfato de Aluminio [Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013] Prueba 5

Prueba 5	Condiciones prueba de jarras								Tipo de coagulante: Sulfato de aluminio	Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)	CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA	
	Mezcla rápida: 100rpm – 1 min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min								<u>MUESTRA</u>	
	Prueba de Jarras		Agua sedimentada							pH: 7.62		
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)	Color (UC Pt-Co): 18			
1	62	0.15	8	10	0.248	7.42	230	4	Turbiedad (NTU): 12.5			
2	64	0.15	8	10	0.232	7.82	232	4	Conductividad (uS/cm): 228			
3	66	0.15	8	9	0.219	7.44	225	5	Sólidos suspendidos (mg/l): 24			
4	68	0.15	8	11	0.239	7.63	229	6	Temperatura (°C): 13.6			
											Fecha de Muestreo:	
											04 de Enero de 2013	

2.5.3 Determinación de dosis óptima del coagulante Sulfato de Aluminio (Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013).

Tabla 14. Datos obtenidos en pruebas de jarras con Sulfato de Aluminio [Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013] Prueba 1

Prueba		Condiciones prueba de jarras					Tipo de coagulante:		Tipo de floculante:		CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA	
1		Mezcla rápida:	Mezcla lenta:	Sedimentación:			Sulfato de aluminio		(LIPESA 1560 PWG)			
		100rpm – 1min	40 rpm-20min	0 rpm – 20min								
		Prueba de Jarras			Agua sedimentada							
Jarra		dosis de	dosis de	I. W.	Color	Turbiedad	pH	Conductividad	Sólidos suspendidos			
Nº		coagulante (mg/l)	floculante (mg/l)			(NTU)		uS/cm	(mg/l)			
1		30	0.15	4	20	1.11	7.66	189	24			
2		40	0.15	4	17	1.08	7.38	192	22			
3		50	0.15	4	16	0.998	7.35	202	18			
4		60	0.15	6	14	0.765	7.29	181	16			
ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)						Observaciones						
0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento.						1. Se puede observar como hasta el momento se tiene las mejores condiciones en la jarra 4, es decir con una dosis de 60 mg/l.						
2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible.												
4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta.												
6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento.												
8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente.												
10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.												
MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 30												

Tabla 15. Datos obtenidos en pruebas de jarras con Sulfato de Aluminio [Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013] Prueba 2

Prueba 2	Condiciones prueba de jarras					Tipo de coagulante: Sulfato de aluminio		Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)		CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA	
	Mezcla rápida: 100rpm – 1 min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min							<u>MUESTRA</u>	
											pH: 7.94
	Prueba de Jarras			Agua sedimentada						Color (UC Pt-Co): 26	
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)	Turbiedad (NTU): 19.0		
1	70	0.15	6	14	0.678	7.71	203	11	Conductividad (uS/cm): 205		
2	80	0.15	8	12	0.601	7.61	183	9	Sólidos suspendidos (mg/l): 30		
3	90	0.15	8	13	0.655	7.50	195	13	Temperatura (°C): 13.3		
4	45	0.15	4	15	1.03	7.66	197	19	Fecha de Muestreo:		
										13 de Febrero de 2013	
ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones					MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 30	
0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento. 2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible. 4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta. 6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento. 8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente. 10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.					1. Luego de observar los resultados, se puede ver como en este cuadro existe una concentración con mejores características que la anterior como es la de 80 mg/l.						

Tabla 16. Datos obtenidos en pruebas de jarras con Sulfato de Aluminio [Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013] Prueba 3

Prueba 3	Condiciones prueba de jarras				Tipo de coagulante: Sulfato de aluminio		Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)		CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA	
	Mezcla rápida: 100rpm – 1min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min						<u>MUESTRA</u> pH: 7.94 Color (UC Pt-Co): 26 Turbiedad (NTU): 19.0 Conductividad (uS/cm): 205 Sólidos suspendidos (mg/l): 30 Temperatura (°C): 13.3 Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013	
	Prueba de Jarras			Agua sedimentada						
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)		
1	55	0.15	6	13	0.857	7.83	188	18		
2	65	0.15	6	14	0.701	7.71	201	13		
3	75	0.15	8	14	0.675	7.66	190	10		
4	85	0.15	8	16	0.638	7.55	211	11		
ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones					
0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento.					1. Los resultados en esta tabla nos dan una clara visualización para saber que la dosis óptima se entra en el rango de 70 – 90 mg/l.					
2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible.										
4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta.										
6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento.										
8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente.										
10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.										
MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 30										

Tabla 17. Datos obtenidos en pruebas de jarras con Sulfato de Aluminio [Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013] Prueba 4

Prueba 4	Condiciones prueba de jarras					Tipo de coagulante: Sulfato de aluminio		Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)		CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA	
	Mezcla rápida: 100rpm – 1 min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min							<u>MUESTRA</u> pH: 7.94 Color (UC Pt-Co): 26 Turbiedad (NTU): 19.0 Conductividad (uS/cm): 205 Sólidos suspendidos (mg/l): 30 Temperatura (°C): 13.3 Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013	
	Prueba de Jarras			Agua sedimentada							
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)			
1	72	0.15	6	14	0.686	7.38	202	11			
2	74	0.15	8	13	0.672	7.59	193	12			
3	76	0.15	8	12	0.634	7.32	194	10			
4	78	0.15	8	11	0.610	7.44	193	10			
ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones						
0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento. 2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible. 4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta. 6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento. 8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente. 10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.					1. Se puede observar valores de turbiedad cercanos al de la concentración de 80 mg/l, cuyo valor de turbiedad es el menor hasta el momento; con el fin de tener mayor seguridad al escoger la dosis óptima, se completará los ensayos en el rango establecido						MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 30

Tabla 18. Datos obtenidos en pruebas de jarras con Sulfato de Aluminio [Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013] Prueba 5

Prueba 5	Condiciones prueba de jarras					Tipo de coagulante: Sulfato de aluminio		Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)		CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA		
	Mezcla rápida: 100rpm – 1 min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min							<u>MUESTRA</u>		
										pH: 7.94		
	Prueba de Jarras			Agua sedimentada					Color (UC Pt-Co): 26			
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)	Turbiedad (NTU): 19.0			
1	82	0.15	8	10	0.613	7.65	185	9	Conductividad (uS/cm): 205			
2	84	0.15	8	10	0.622	7.72	189	8	Sólidos suspendidos (mg/l): 30			
3	86	0.15	8	9	0.649	7.53	192	11	Temperatura (°C): 13.3			
4	88	0.15	8	11	0.661	7.62	197	12	Fecha de Muestreo:			
											13 de Febrero de 2013	

2.5.4 Determinación de dosis óptima del coagulante Sulfato de Aluminio (Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013).

Tabla 19. Datos obtenidos en pruebas de jarras con Sulfato de Aluminio [Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013] Prueba 1

Prueba 1	Condiciones prueba de jarras				Tipo de coagulante: Sulfato de aluminio		Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)		CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA		
	Mezcla rápida: 100rpm – 1min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min						<u>MUESTRA</u> pH: 7.45 Color (UC Pt-Co): 24 Turbiedad (NTU): 11.8 Conductividad (uS/cm): 173 Sólidos suspendidos (mg/l): 22 Temperatura (°C): 13.1 Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013		
	Prueba de Jarras			Agua sedimentada							
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)			
1	30	0.15	4	22	0.451	7.35	189	18			
2	40	0.15	4	17	0.423	7.41	192	16			
3	50	0.15	4	15	0.326	7.65	202	16			
4	60	0.15	6	12	0.267	7.33	181	15			
ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones						
0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento.					1. Se puede observar como hasta el momento se tiene las mejores condiciones en la jarra 4, es decir con una dosis de 60 mg/l.						
2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible.											
4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta.											
6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento.											
8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente.											
10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.											
										MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 22	

Tabla 20. Datos obtenidos en pruebas de jarras con Sulfato de Aluminio [Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013] Prueba 2

Prueba 2	Condiciones prueba de jarras					Tipo de coagulante: Sulfato de aluminio		Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)		CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA	
	Mezcla rápida: 100rpm – 1 min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min							<u>MUESTRA</u> pH: 7.45 Color (UC Pt-Co): 24 Turbiedad (NTU): 11.8 Conductividad (uS/cm): 173 Sólidos suspendidos (mg/l): 22 Temperatura (°C): 13.1 Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013	
	Prueba de Jarras		Agua sedimentada								
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)			
1	70	0.15	6	9	0.205	7.28	203	10			
2	80	0.15	8	12	0.322	7.31	183	12			
3	90	0.15	8	16	0.459	7.52	195	13			
4	45	0.15	4	15	0.301	7.44	197	17			
ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones						
0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento. 2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible. 4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta. 6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento. 8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente. 10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.					1. Luego de observar los resultados, se puede ver como en este cuadro existe una concentración con mejores características que la anterior como es la de 70 mg/l .						
MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 22											

Tabla 21. Datos obtenidos en pruebas de jarras con Sulfato de Aluminio [Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013] Prueba 3

Prueba 3	Condiciones prueba de jarras								Tipo de coagulante: Sulfato de aluminio	Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)	CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA	
	Mezcla rápida: 100rpm – 1 min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min								<u>MUESTRA</u>	
	Prueba de Jarras		Agua sedimentada							pH: 7.45		
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)	Color (UC Pt-Co): 24			
1	55	0.15	6	13	0.287	7.40	188	16	Turbiedad (NTU): 11.8			
2	65	0.15	6	11	0.236	7.45	201	13	Conductividad (uS/cm): 173			
3	75	0.15	8	10	0.278	7.52	190	11	Sólidos suspendidos (mg/l): 22			
4	85	0.15	8	14	0.388	7.36	211	14	Temperatura (°C): 13.1			
											Fecha de Muestreo:	
											07 de Marzo de 2013	
ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones							
0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento.					1. Los resultados en esta tabla nos dan una clara visualización para saber que la dosis óptima se entra en el rango de 60 – 80 mg/l.							
2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible.												
4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta.												
6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento.												
8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente.												
10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.												
											MUESTRA CON :	
											Sólidos Suspendidos (mg/l) : 22	

Tabla 22. Datos obtenidos en pruebas de jarras con Sulfato de Aluminio [Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013] Prueba 4

Prueba 4	Condiciones prueba de jarras								Tipo de coagulante: Sulfato de aluminio	Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)	CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA	
	Mezcla rápida: 100rpm – 1min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min								MUESTRA	
			pH: 7.45									
	Prueba de Jarras			Agua sedimentada					Color (UC Pt-Co): 24			
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)	Turbiedad (NTU): 11.8			
1	62	0.15	6	10	0.255	7.35	202	13	Conductividad (uS/cm): 173			
2	64	0.15	8	10	0.238	7.39	193	12	Sólidos suspendidos (mg/l): 22			
3	66	0.15	8	12	0.228	7.42	194	12	Temperatura (°C): 13.1			
4	68	0.15	8	12	0.210	7.34	193	11	Fecha de Muestreo:			
07 de Marzo de 2013												
ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones							
0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento.					1. Se puede observar valores de turbiedad cercanos al de la concentración de 70 mg/l, cuyo valor de turbiedad es el menor hasta el momento; con el fin de tener mayor seguridad al escoger la dosis óptima, se completará los ensayos en el rango establecido.							
2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible.												
4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta.												
6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento.												
8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente.												
10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.												
MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 22												

Tabla 23. Datos obtenidos en pruebas de jarras con Sulfato de Aluminio [Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013] Prueba 5

Prueba 5	Condiciones prueba de jarras				Tipo de coagulante: Sulfato de aluminio		Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)		CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA		
	Mezcla rápida: 100rpm – 1min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min						<u>MUESTRA</u> pH: 7.45 Color (UC Pt-Co): 24 Turbiedad (NTU): 11.8 Conductividad (uS/cm): 173 Sólidos suspendidos (mg/l): 22 Temperatura (°C): 13.1 Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013		
	Prueba de Jarras			Agua sedimentada							
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)			
1	72	0.15	8	10	0.214	7.24	185	10			
2	74	0.15	8	10	0.265	7.18	189	12			
3	76	0.15	8	12	0.296	7.26	192	12			
4	78	0.15	8	12	0.302	7.20	197	14			
ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones						
0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento.					1. Después del análisis de los resultados, se puede observar que la dosis óptima se encuentra en la concentración 70mg/l cuyos resultados de análisis son los más bajos.						
2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible.											
4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta.											
6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento.											
8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente.											
10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.											

2.5.5 Determinación de dosis óptima del coagulante Policloruro de aluminio (Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012).

Tabla 24. Datos obtenidos en pruebas de jarras con Policloruro de aluminio [Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012] Prueba 1

Prueba 1	Condiciones prueba de jarras					Tipo de coagulante: Policloruro de aluminio		Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)		CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA																						
	Mezcla rápida: 100rpm – 1 min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min							<u>MUESTRA</u> pH: 7.4 Color (UC Pt-Co): 22 Turbiedad (NTU): 11.2 Conductividad (uS/cm): 236 Sólidos suspendidos (mg/l): 26 Temperatura (°C): 14.3 Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012																						
	Prueba de Jarras			Agua sedimentada																												
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)																								
1	30	0.15	6	15	0.429	7.52	211	5																								
2	40	0.15	6	13	0.378	7.87	207	4																								
3	50	0.15	8	9	0.259	7.73	215	4																								
4	60	0.15	8	8	0.219	7.71	229	2																								
<table><tr><td colspan="5">ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)</td><td colspan="6">Observaciones</td></tr><tr><td colspan="5">0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento. 2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible. 4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta. 6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento. 8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente. 10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.</td><td colspan="6">1. Se puede observar como hasta el momento se tiene las mejores condiciones en la jarra 4, es decir con una dosis de 60 mg/l.</td></tr></table>											ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones						0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento. 2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible. 4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta. 6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento. 8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente. 10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.					1. Se puede observar como hasta el momento se tiene las mejores condiciones en la jarra 4, es decir con una dosis de 60 mg/l.					
ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones																											
0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento. 2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible. 4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta. 6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento. 8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente. 10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.					1. Se puede observar como hasta el momento se tiene las mejores condiciones en la jarra 4, es decir con una dosis de 60 mg/l.																											
MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 26																																

Tabla 25. Datos obtenidos en pruebas de jarras con Policloruro de aluminio [Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012] Prueba 2

Prueba 2	Condiciones prueba de jarras					Tipo de coagulante: Policloruro de aluminio		Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)		CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA	
	Mezcla rápida: 100rpm – 1 min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min							<u>MUESTRA</u> pH: 7.4 Color (UC Pt-Co): 22 Turbiedad (NTU): 11.2 Conductividad (uS/cm): 236 Sólidos suspendidos (mg/l): 26 Temperatura (°C): 14.3 Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012	
	Prueba de Jarras		Agua sedimentada								
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)			
1	70	0.15	8	11	0.242	7.52	231	4			
2	80	0.15	6	14	0.310	7.51	218	7			
3	90	0.15	6	17	0.323	7.46	222	8			
4	45	0.15	6	11	0.338	7.62	230	4			
ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones						
0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento. 2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible. 4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta. 6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento. 8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente. 10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.					1. Luego de observar los resultados, se reducirá los rangos de concentración, para tener una visualización superior de las mejores condiciones de dosificación.						
MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 26											

Tabla 26. Datos obtenidos en pruebas de jarras con Policloruro de aluminio [Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012] Prueba 3

Prueba 3	Condiciones prueba de jarras								Tipo de coagulante: Policloruro de aluminio	Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)	CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA	
	Mezcla rápida: 100rpm – 1min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min								MUESTRA	
			pH: 7.4									
	Prueba de Jarras			Agua sedimentada					Color (UC Pt-Co): 22			
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)	Turbiedad (NTU): 11.2			
1	55	0.15	8	9	0.241	7.76	215	3	Conductividad (uS/cm): 236			
2	65	0.15	8	10	0.230	7.38	216	3	Sólidos suspendidos (mg/l): 26			
3	75	0.15	6	12	0.288	7.53	231	5	Temperatura (°C): 14.3			
4	85	0.15	6	15	0.315	7.53	228	7	Fecha de Muestreo:			
17 de Diciembre de 2012												
ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones							
0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento. 2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible. 4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta. 6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento. 8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente. 10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.					1. Al ampliar el rango de concentraciones, se puede observar que los mejores resultados se encuentran en el rango de 50 – 60 mg/l.							
MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 26												

Tabla 27. Datos obtenidos en pruebas de jarras con Policloruro de aluminio [Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012] Prueba 4

Prueba 4	Condiciones prueba de jarras					Tipo de coagulante: Policloruro de aluminio		Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)		CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA	
	Mezcla rápida: 100rpm – 1 min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min							<u>MUESTRA</u> pH: 7.4 Color (UC Pt-Co): 22 Turbiedad (NTU): 11.2 Conductividad (uS/cm): 236 Sólidos suspendidos (mg/l): 26 Temperatura (°C): 14.3 Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012	
	Prueba de Jarras		Agua sedimentada						MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 26		
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)			
1	52	0.15	6	9	0.256	7.75	229	3			
2	54	0.15	6	9	0.236	7.35	215	3			
3	56	0.15	8	9	0.223	7.28	219	4			
4	58	0.15	8	8	0.218	7.46	224	2			
ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones						
0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento.					1. Se puede observar valores de turbiedad cercanos al de la concentración de 60 mg/l, cuyo valor de turbiedad es el menor hasta el momento; con el fin de tener mayor seguridad al escoger la dosis óptima, se ampliará un poco más el rango de experimentación.						
2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible.											
4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta.											
6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento.											
8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente.											
10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.											

Tabla 28. Datos obtenidos en pruebas de jarras con Policloruro de aluminio [Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012] Prueba 5

Prueba 5	Condiciones prueba de jarras				Tipo de coagulante: Policloruro de aluminio		Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)		CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA		
	Mezcla rápida: 100rpm – 1 min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min						<u>MUESTRA</u>		
									pH: 7.4		
	Prueba de Jarras			Agua sedimentada						Color (UC Pt-Co): 22	
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)	Turbiedad (NTU): 11.2		
1	62	0.15	8	8	0.224	7.42	233	3	Conductividad (uS/cm): 236		
2	64	0.15	8	10	0.232	7.82	225	4	Sólidos suspendidos (mg/l): 26		
3	66	0.15	8	11	0.238	7.44	226	4	Temperatura (°C): 14.3		
4	68	0.15	8	12	0.240	7.63	218	4	Fecha de Muestreo:		
									17 de Diciembre de 2012		
ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones						
0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento.					1. Después del análisis de los resultados, se puede observar que la dosis óptima para estas condiciones es 60 mg/l						
2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible.											
4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta.											
6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento.											
8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente.											
10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.											
									MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 26		

2.5.6 Determinación de dosis óptima del coagulante Policloruro de aluminio (Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013).

Tabla 29. Datos obtenidos en pruebas de jarras con Policloruro de aluminio [Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013] Prueba 1

Prueba 1		Condiciones prueba de jarras					Tipo de coagulante: Policloruro de aluminio		Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)		CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA		
		Mezcla rápida: 100rpm – 1min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min							<u>MUESTRA</u>		
												pH: 7.62	
		Prueba de Jarras			Agua sedimentada							Color (UC Pt-Co): 18	
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)				Turbiedad (NTU): 12.5	
1	30	0.15	6	15	0.747	7.24	200	8				Conductividad (uS/cm): 228	
2	40	0.15	6	13	0.630	7.36	198	5				Sólidos suspendidos (mg/l): 24	
3	50	0.15	6	13	0.429	7.81	194	5				Temperatura (°C): 13.6	
4	60	0.15	8	11	0.219	7.39	201	6				Fecha de Muestreo:	
												04 de Enero de 2013	
ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones								
0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento.					1. Se puede observar como hasta el momento se tiene las mejores condiciones en la jarra 4, es decir con una dosis de 60 mg/l.								
2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible.													
4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta.													
6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento.													
8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente.													
10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.												MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 24	

Tabla 30. Datos obtenidos en pruebas de jarras con Policloruro de aluminio [Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013] Prueba 2

Prueba 2	Condiciones prueba de jarras				Tipo de coagulante: Policloruro de aluminio		Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)		CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA		
	Mezcla rápida: 100rpm – 1min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min						<u>MUESTRA</u>		
									pH: 7.62		
	Prueba de Jarras			Agua sedimentada					Color (UC Pt-Co): 18		
Jarra Nº	dosís de coagulante (mg/l)	dosís de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)	Turbiedad (NTU): 12.5		
1	70	0.15	8	12	0.271	7.55	203	5	Conductividad (uS/cm): 228		
2	80	0.15	6	13	0.310	7.71	205	8	Sólidos suspendidos (mg/l): 24		
3	90	0.15	4	17	0.438	7.28	215	10	Temperatura (°C): 13.6		
4	45	0.15	6	12	0.323	7.74	196	5	Fecha de Muestreo:		
									04 de Enero de 2013		
ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones						
0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento.					1. Luego de observar los resultados, se reducirá los rangos de concentración, para tener una visualización superior de las mejores condiciones de dosificación.						
2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible.											
4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta.											
6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento.											
8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente.											
10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.											
									MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 24		

Tabla 31. Datos obtenidos en pruebas de jarras con Policloruro de aluminio [Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013] Prueba 3

Prueba 3	Condiciones prueba de jarras					Tipo de coagulante: Policloruro de aluminio		Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)		CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA			
	Mezcla rápida: 100rpm – 1 min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min							<u>MUESTRA</u>			
										pH: 7.62			
	Prueba de Jarras			Agua sedimentada								Color (UC Pt-Co): 18	
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)				Turbiedad (NTU): 12.5	
1	55	0.15	8	12	0.338	7.33	197	7				Conductividad (uS/cm): 228	
2	65	0.15	8	9	0.197	7.27	214	4				Sólidos suspendidos (mg/l): 24	
3	75	0.15	8	13	0.253	7.62	218	7				Temperatura (°C): 13.6	
4	85	0.15	6	15	0.401	7.72	221	9				Fecha de Muestreo:	
											04 de Enero de 2013		
ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones								
0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento.					1. Los resultados en esta tabla nos dan una clara visualización para saber que la dosis óptima se entra en el rango de 60 – 70 mg/l.								
2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible.													
4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta.													
6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento.													
8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente.													
10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.												MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 24	

Tabla 32. Datos obtenidos en pruebas de jarras con Policloruro de aluminio [Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013] Prueba 4

Prueba 4	Condiciones prueba de jarras					Tipo de coagulante: Policloruro de aluminio		Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)		CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA	
	Mezcla rápida: 100rpm – 1 min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min							<u>MUESTRA</u> pH: 7.62 Color (UC Pt-Co): 18 Turbiedad (NTU): 12.5 Conductividad (uS/cm): 228 Sólidos suspendidos (mg/l): 24 Temperatura (°C): 13.6 Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013	
	Prueba de Jarras		Agua sedimentada								
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)			
1	52	0.15	6	13	0.326	7.11	218	5			
2	54	0.15	6	12	0.255	7.18	222	5			
3	56	0.15	6	12	0.266	7.26	206	6			
4	58	0.15	8	12	0.274	7.38	203	5			
ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones						
0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento. 2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible. 4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta. 6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento. 8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente. 10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.					1. Se puede observar valores de turbiedad cercanos al de la concentración de 60 mg/l, cuyo valor de turbiedad es el menor hasta el momento; con el fin de tener mayor seguridad al escoger la dosis óptima, se ampliará un poco más el rango de experimentación.						
MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 24											

Tabla 33. Datos obtenidos en pruebas de jarras con Policloruro de aluminio [Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013] Prueba 5

Prueba 5	Condiciones prueba de jarras								Tipo de coagulante: Policloruro de aluminio	Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)	CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA	
	Mezcla rápida: 100rpm – 1 min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min								<u>MUESTRA</u> pH: 7.62 Color (UC Pt-Co): 18 Turbiedad (NTU): 12.5 Conductividad (uS/cm): 228 Sólidos suspendidos (mg/l): 24 Temperatura (°C): 13.6 Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013	
	Prueba de Jarras		Agua sedimentada									
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)				
1	62	0.15	8	11	0.248	7.77	222	5				
2	64	0.15	8	10	0.232	7.55	224	5				
3	66	0.15	8	9	0.219	7.89	219	5				
4	68	0.15	8	9	0.239	7.63	225	6				
ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones							
0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento. 2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible. 4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta. 6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento. 8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente. 10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.					1. Después del análisis de los resultados, se puede observar que la dosis óptima para estas condiciones es 65 mg/l							
					MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 24							

2.5.7 Determinación de dosis óptima del coagulante Policloruro de aluminio (Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013).

Tabla 34. Datos obtenidos en pruebas de jarras con Policloruro de aluminio [Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013] Prueba 1

Prueba 1	Condiciones prueba de jarras								Tipo de coagulante: Policloruro de aluminio	Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)	CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA		
	Mezcla rápida: 100rpm – 1 min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min								<u>MUESTRA</u>		
											pH: 7.94		
	Prueba de Jarras		Agua sedimentada									Color (UC Pt-Co): 26	
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)				Turbiedad (NTU): 19.0	
1	30	0.15	4	17	0.955	7.64	178	18				Conductividad (uS/cm): 205	
2	40	0.15	4	16	0.879	7.48	181	18				Sólidos suspendidos (mg/l): 30	
3	50	0.15	6	14	0.714	7.40	184	17				Temperatura (°C): 13.3	
4	60	0.15	6	14	0.697	7.46	203	15				Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013	
ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones								
0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento.					1. Se puede observar como hasta el momento se tiene las mejores condiciones en la jarra 4, es decir con una dosis de 60 mg/l.							MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 30	
2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible.													
4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta.													
6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento.													
8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente.													
10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.													

Tabla 35. Datos obtenidos en pruebas de jarras con Policloruro de aluminio [Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013] Prueba 2

Prueba 2	Condiciones prueba de jarras				Tipo de coagulante: Policloruro de aluminio		Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)		CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA		
	Mezcla rápida: 100rpm – 1min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min						<u>MUESTRA</u> pH: 7.94 Color (UC Pt-Co): 26 Turbiedad (NTU): 19.0 Conductividad (uS/cm): 205 Sólidos suspendidos (mg/l): 30 Temperatura (°C): 13.3 Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013		
	Prueba de Jarras			Agua sedimentada							
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)			
1	70	0.15	6	13	0.587	7.69	202	11			
2	80	0.15	8	12	0.571	7.53	190	7			
3	90	0.15	8	13	0.657	7.30	206	15			
4	45	0.15	6	16	0.787	7.60	192	17			
ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones						
0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento.					1. Luego de observar los resultados, se puede ver como en este cuadro existe una concentración con mejores características que la anterior como es la de 80 mg/l .						
2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible.											
4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta.											
6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento.											
8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente.											
10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.											

Tabla 36. Datos obtenidos en pruebas de jarras con Policloruro de aluminio [Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013] Prueba 3

Prueba 3	Condiciones prueba de jarras				Tipo de coagulante: Policloruro de aluminio		Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)		CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA		
	Mezcla rápida: 100rpm – 1min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min						<u>MUESTRA</u> pH: 7.94 Color (UC Pt-Co): 26 Turbiedad (NTU): 19.0 Conductividad (uS/cm): 205 Sólidos suspendidos (mg/l): 30 Temperatura (°C): 13.3 Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013		
	Prueba de Jarras			Agua sedimentada							
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)			
1	55	0.15	6	14	0.704	7.88	192	16			
2	65	0.15	6	14	0.636	7.77	208	13			
3	75	0.15	8	12	0.579	7.57	213	9			
4	85	0.15	8	12	0.642	7.45	199	11			
ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones						
0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento. 2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible. 4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta. 6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento. 8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente. 10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.					1. Los resultados en esta tabla nos dan una clara visualización para saber que la dosis óptima se entra en el rango de 70 – 90 mg/l.						
										MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 30	

Tabla 37. Datos obtenidos en pruebas de jarras con Policloruro de aluminio [Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013] Prueba 4

Prueba 4	Condiciones prueba de jarras					Tipo de coagulante: Policloruro de aluminio		Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)		CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA																																																					
	Mezcla rápida: 100rpm – 1 min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min							MUESTRA pH: 7.94 Color (UC Pt-Co): 26 Turbiedad (NTU): 19.0 Conductividad (uS/cm): 205 Sólidos suspendidos (mg/l): 30 Temperatura (°C): 13.3 Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013																																																					
	Prueba de Jarras		Agua sedimentada																																																												
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)																																																							
1	72	0.15	6	14	0.582	7.48	202	9																																																							
2	74	0.15	8	13	0.576	7.42	196	8																																																							
3	76	0.15	8	12	0.573	7.37	188	8																																																							
4	78	0.15	8	12	0.571	7.32	176	8																																																							
<table><tr><td colspan="5">ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)</td><td colspan="6">Observaciones</td></tr><tr><td colspan="5">0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento.</td><td colspan="6" rowspan="5">1. Se puede observar valores de turbiedad cercanos al de la concentración de 80 mg/l, cuyo valor de turbiedad es el menor hasta el momento; con el fin de tener mayor seguridad al escoger la dosis óptima, se completará los ensayos en el rango establecido</td></tr><tr><td colspan="5">2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible.</td></tr><tr><td colspan="5">4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta.</td></tr><tr><td colspan="5">6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento.</td></tr><tr><td colspan="5">8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente.</td></tr><tr><td colspan="5">10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.</td><td colspan="6">MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 30</td></tr></table>											ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones						0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento.					1. Se puede observar valores de turbiedad cercanos al de la concentración de 80 mg/l, cuyo valor de turbiedad es el menor hasta el momento; con el fin de tener mayor seguridad al escoger la dosis óptima, se completará los ensayos en el rango establecido						2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible.					4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta.					6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento.					8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente.					10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.					MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 30					
ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones																																																										
0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento.					1. Se puede observar valores de turbiedad cercanos al de la concentración de 80 mg/l, cuyo valor de turbiedad es el menor hasta el momento; con el fin de tener mayor seguridad al escoger la dosis óptima, se completará los ensayos en el rango establecido																																																										
2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible.																																																															
4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta.																																																															
6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento.																																																															
8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente.																																																															
10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.					MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 30																																																										

Tabla 38. Datos obtenidos en pruebas de jarras con Policloruro de aluminio [Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013] Prueba 5

Prueba		Condiciones prueba de jarras					Tipo de coagulante:		Tipo de floculante:		CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA	
5		Mezcla rápida:	Mezcla lenta:	Sedimentación:			Policloruro de aluminio		LIPESA 1560 PWG)			
		100rpm – 1 min	40 rpm-20min	0 rpm – 20min								
		Prueba de Jarras			Agua sedimentada							
Jarra	dosis de	dosis de	I. W.	Color	Turbiedad	pH	Conductividad	Sólidos suspendidos				
Nº	coagulante (mg/l)	floculante (mg/l)			(NTU)		uS/cm	(mg/l)				
1	82	0.15	8	12	0.596	7.52	177	10				
2	84	0.15	8	12	0.624	7.53	185	12				
3	86	0.15	8	13	0.656	7.64	183	13				
4	88	0.15	8	12	0.667	7.67	175	14				
ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones							
0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento.					1. Después del análisis de los resultados, se puede observar que la dosis óptima será la de la concentración de 80mg/l							
2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible.												
4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta.												
6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento.												
8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente.												
10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.												
												MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 30

2.5.8 Determinación de dosis óptima de coagulante (Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013).

Tabla 39. Datos obtenidos en pruebas de jarras con Policloruro de aluminio [Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013] Prueba 1

Prueba 1	Condiciones prueba de jarras					Tipo de coagulante: Policloruro de aluminio		Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)		CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA		
	Mezcla rápida: 100rpm – 1 min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min							<u>MUESTRA</u> pH: 7.45 Color (UC Pt-Co): 24 Turbiedad (NTU): 11.8 Conductividad (uS/cm): 173 Sólidos suspendidos (mg/l): 22 Temperatura (°C): 13.1 Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013		
	Prueba de Jarras			Agua sedimentada								
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)				
1	30	0.15	4	18	0.393	7.33	176	18				
2	40	0.15	6	16	0.328	7.14	174	16				
3	50	0.15	6	13	0.292	7.00	169	16				
4	60	0.15	6	13	0.216	6.88	181	15				
ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones							
0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento.					1. Se puede observar como hasta el momento se tiene las mejores condiciones en la jarra 4, es decir con una dosis de 60 mg/l.							
2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible.												
4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta.												
6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento.												
8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente.												
10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.												MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 22

Tabla 40. Datos obtenidos en pruebas de jarras con Policloruro de aluminio [Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013] Prueba 2

Prueba 2	Condiciones prueba de jarras					Tipo de coagulante: Policloruro de aluminio	Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)	CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA	
	Mezcla rápida: 100rpm – 1min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min						
	Prueba de Jarras			Agua sedimentada					
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)	
1	70	0.15	8	11	0.194	6.95	170	10	
2	80	0.15	8	22	0.449	6.76	183	12	
3	90	0.15	8	23	0.597	6.73	181	13	
4	45	0.15	6	15	0.315	7..05	177	17	
ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.) 0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento. 2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible. 4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta. 6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento. 8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente. 10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.					Observaciones 1. Luego de observar los resultados, se puede ver como en este cuadro existe una concentración con mejores características que la anterior como es la de 70 mg/l .				
									MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 22

Tabla 41. Datos obtenidos en pruebas de jarras con Policloruro de aluminio [Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013] Prueba 3

Prueba 3	Condiciones prueba de jarras					Tipo de coagulante: Policloruro de aluminio		Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)		CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA										
	Mezcla rápida: 100rpm – 1 min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min							<u>MUESTRA</u> pH: 7.45 Color (UC Pt-Co): 24 Turbiedad (NTU): 11.8 Conductividad (uS/cm): 173 Sólidos suspendidos (mg/l): 22 Temperatura (°C): 13.1 Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013										
	Prueba de Jarras		Agua sedimentada																	
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)												
1	55	0.15	6	13	0.255	7.10	173	16												
2	65	0.15	8	12	0.200	6.84	170	13												
3	75	0.15	8	18	0.345	6.70	168	11												
4	85	0.15	8	23	0.488	6.87	182	14												
											ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones				
											0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento. 2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible. 4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta. 6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento. 8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente. 10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.					1. Los resultados en esta tabla nos dan una clara visualización para saber que la dosis óptima se entra en el rango de 60 – 80 mg/l.				
											MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 22									

Tabla 42. Datos obtenidos en pruebas de jarras con Policloruro de aluminio [Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013] Prueba 4

Prueba 4	Condiciones prueba de jarras					Tipo de coagulante: Policloruro de aluminio		Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)		CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA	
	Mezcla rápida: 100rpm – 1min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min							MUESTRA	
										pH: 7.45	
	Prueba de Jarras			Agua sedimentada					Color (UC Pt-Co): 24		
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)	Turbiedad (NTU): 11.8		
1	62	0.15	6	13	0.210	6.98	186	13	Conductividad (uS/cm): 173		
2	64	0.15	8	13	0.204	6.93	183	12	Sólidos suspendidos (mg/l): 22		
3	66	0.15	8	12	0.199	7.01	186	12	Temperatura (°C): 13.1		
4	68	0.15	8	11	0.195	6.96	182	11	Fecha de Muestreo:		
07 de Marzo de 2013											
ÍNDICE DE WILLCOB (I. W.)					Observaciones						
0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento.					1. Se puede observar valores de turbiedad cercanos al de la concentración de 70 mg/l, cuyo valor de turbiedad es el menor hasta el momento; con el fin de tener mayor seguridad al escoger la dosis óptima, se completará los ensayos en el rango establecido.						
2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible.											
4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta.											
6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento.											
8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente.											
10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.											
MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 22											

Tabla 43. Datos obtenidos en pruebas de jarras con Policloruro de aluminio [Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013] Prueba 5

Prueba 5	Condiciones prueba de jarras				Tipo de coagulante: Policloruro de aluminio		Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)		CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA	
	Mezcla rápida: 100rpm – 1min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min							
	Prueba de Jarras			Agua sedimentada						
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)		
1	72	0.15	8	13	0.295	6.90	185	10		
2	74	0.15	8	15	0.322	6.86	179	12		
3	76	0.15	8	18	0.379	6.92	174	12		
4	78	0.15	8	21	0.409	6.83	176	14		
ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones					
0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento. 2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible. 4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta. 6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento. 8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente. 10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.					1. Después del análisis de los resultados, se puede observar que la dosis óptima se encuentra en la concentración 70mg/l cuyos resultados de análisis son los más bajos..					
MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 22										

2.5.9 Evaluación de la eficacia del floculante. Estas pruebas se realizaron con dos dosis consideradas óptimas de coagulante respecto a cada muestra.

2.5.9.1 Dosis óptima de floculante (Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012).

Tabla 44. Pruebas de jarras variando la dosis del floculante con Sulfato de Aluminio [Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012] Prueba 1

Prueba 1	Condiciones prueba de jarras								Tipo de coagulante: Sulfato de aluminio	Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)	CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA
	Mezcla rápida: 100rpm – 1min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min								<u>MUESTRA</u> pH: 7.4 Color (UC Pt-Co): 22 Turbiedad (NTU): 11.2 Conductividad (uS/cm): 236 Sólidos suspendidos (mg/l): 26 Temperatura (°C): 14.3 Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012
	Prueba de Jarras		Agua sedimentada								
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)			
1	60	0.00	2	16	0.393	7.82	216	12			
2	60	0.10	8	14	0.328	7.35	221	3			
3	60	0.20	8	14	0.292	7.75	207	4			
4	60	0.25	6	13	0.216	7.63	224	5			
Dosis óptima	60	0.15	8	10	0.304	7.28	235	3			
	ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)								Observaciones		
	0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento. 2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible. 4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta. 6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento. 8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente. 10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.								1. Con este ensayo complementario, se puede comprobar que la dosis óptima es 60 mg/l.		
										MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 26	

Tabla 45. Pruebas de jarras variando la dosis del floculante con Sulfato de Aluminio [Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012] Prueba 2

Prueba 2	Condiciones prueba de jarras					Tipo de coagulante: Sulfato de aluminio		Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)		CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA			
	Mezcla rápida: 100rpm – 1 min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min							<u>MUESTRA</u>			
										pH: 7.4			
	Prueba de Jarras			Agua sedimentada								Color (UC Pt-Co): 22	
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)				Turbiedad (NTU): 11.2	
1	55	0.00	2	18	1.15	7.30	203	14				Conductividad (uS/cm): 236	
2	55	0.10	8	14	0.896	7.38	210	6				Sólidos suspendidos (mg/l): 26	
3	55	0.20	8	16	0.688	7.14	223	6				Temperatura (°C): 14.3	
4	55	0.25	6	16	0.857	7.28	215	5				Fecha de Muestreo:	
Dosis óptima	55	0.15	8	10	0.355	7.34	228	4				17 de Diciembre de 2012	
	ÍNDICE DE WILLCOB (I. W.)						Observaciones						
	0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento. 2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible. 4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta. 6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento. 8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente. 10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.						1. Con este ensayo complementario, se puede comprobar que la dosis óptima es 60 mg/l.						
											MUESTRA CON :		
											Sólidos Suspendidos (mg/l) : 26		

Tabla 46. Pruebas de jarras variando la dosis del floculante con Policloruro de aluminio [Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012] Prueba 1

Prueba 1	Condiciones prueba de jarras					Tipo de coagulante: Policloruro de aluminio		Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)		CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA			
	Mezcla rápida: 100rpm – 1 min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min							<u>MUESTRA</u>			
										pH: 7.4			
	Prueba de Jarras			Agua sedimentada								Color (UC Pt-Co): 22	
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)				Turbiedad (NTU): 11.2	
1	60	0.00	2	12	0.366	7.65	233	10				Conductividad (uS/cm): 236	
2	60	0.10	8	10	0.275	7.32	218	4				Sólidos suspendidos (mg/l): 26	
3	60	0.20	8	11	0.255	7.31	215	5				Temperatura (°C): 14.3	
4	60	0.25	6	10	0.298	7.11	224	7				Fecha de Muestreo:	
Dosis óptima	60	0.15	8	9	0.219	7.71	229	2				17 de Diciembre de 2012	
	ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones							
	0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento. 2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible. 4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta. 6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento. 8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente. 10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.					1. Con este ensayo complementario, se puede comprobar que la dosis óptima es 60 mg/l.							
												MUESTRA CON :	
												Sólidos Suspendidos (mg/l) : 26	

Tabla 47. Pruebas de jarras variando la dosis del floculante con Policloruro de aluminio [Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012] Prueba 2

Prueba 2	Condiciones prueba de jarras				Tipo de coagulante: Policloruro de aluminio		Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)		CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA	
	Mezcla rápida: 100rpm – 1 min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min						MUESTRA	
									pH: 7.4	
	Prueba de Jarras			Agua sedimentada					Color (UC Pt-Co): 22	
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)	Turbiedad (NTU): 11.2	
1	55	0.00	2	16	1.02	7.25	212	10	Conductividad (uS/cm): 236	
2	55	0.10	8	12	0.759	7.38	205	5	Sólidos suspendidos (mg/l): 26	
3	55	0.20	8	14	0.568	7.15	202	5	Temperatura (°C): 14.3	
4	55	0.25	6	15	0.618	7.13	219	7	Fecha de Muestreo:	
Dosis óptima	55	0.15	8	10	0.230	7.38	216	3	17 de Diciembre de 2012	
	ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones				
	0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento. 2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible. 4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta. 6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento. 8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente. 10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.					1. Con este ensayo complementario, se puede comprobar que la dosis óptima es 60 mg/l.				
MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 26										

2.5.9.2 Dosis óptima de floculante (Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013).

Tabla 48. Pruebas de jarras variando la dosis del floculante con Sulfato de Aluminio [Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013] Prueba 1

Prueba 1	Condiciones prueba de jarras					Tipo de coagulante: Sulfato de aluminio		Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)		CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA			
	Mezcla rápida: 100rpm – 1min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min							<u>MUESTRA</u>			
										pH: 7.62			
	Prueba de Jarras			Agua sedimentada								Color (UC Pt-Co): 18	
Jarra №	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)				Turbiedad (NTU): 12.5	
1	65	0.00	2	17	1.21	7.72	225	12				Conductividad (uS/cm): 228	
2	65	0.10	8	14	0.985	7.58	211	8				Sólidos suspendidos (mg/l): 24	
3	65	0.20	8	15	0.628	7.49	229	11				Temperatura (°C): 13.6	
4	65	0.25	6	16	0.825	7.64	222	13				Fecha de Muestreo:	
Dosis óptima	65	0.15	8	9	0.221	7.38	210	5				04 de Enero de 2013	
	ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones							
	0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento. 2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible. 4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta. 6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento. 8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente. 10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.					1. Con este ensayo complementario, se puede comprobar que la dosis óptima es 65 mg/l.							
												MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 24	

Tabla 49. Pruebas de jarras variando la dosis del floculante con Sulfato de Aluminio [Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013] Prueba 2

Prueba 2	Condiciones prueba de jarras				Tipo de coagulante: Sulfato de aluminio		Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)		CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA	
	Mezcla rápida: 100rpm – 1 min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min						<u>MUESTRA</u> pH: 7.62 Color (UC Pt-Co): 18 Turbiedad (NTU): 12.5 Conductividad (uS/cm): 228 Sólidos suspendidos (mg/l): 24 Temperatura (°C): 13.6 Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013	
	Prueba de Jarras		Agua sedimentada							
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)		
1	60	0.00	2	18	2.17	7.31	203	14		
2	60	0.10	8	14	1.22	7.45	197	11		
3	60	0.20	8	16	0.927	7.28	204	12		
4	60	0.25	6	16	0.878	7.15	215	13		
Dosis óptima	60	0.15	8	11	0.219	7.34	201	6		
	ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones				
	<div>0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento.</div> <div>2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible.</div> <div>4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta.</div> <div>6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento.</div> <div>8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente.</div> <div>10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.</div>					<div>1. Con este ensayo complementario, se puede comprobar que la dosis óptima es 65 mg/l.</div>				
										MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 24

Tabla 50. Pruebas de jarras variando la dosis del floculante con Policloruro de aluminio [Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013] Prueba 1

Prueba 1	Condiciones prueba de jarras					Tipo de coagulante: Policloruro de aluminio	Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)	CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA	
	Mezcla rápida: 100rpm – 1 min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min					<u>MUESTRA</u> pH: 7.62 Color (UC Pt-Co): 18 Turbiedad (NTU): 12.5 Conductividad (uS/cm): 228 Sólidos suspendidos (mg/l): 24 Temperatura (°C): 13.6 Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013	
	Prueba de Jarras		Agua sedimentada						
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)	
1	65	0.00	2	12	1.07	7.72	218	10	
2	65	0.10	8	8	0.735	7.58	198	6	
3	65	0.20	8	12	0.518	7.49	224	8	
4	65	0.25	6	12	0.747	7.64	202	10	
Dosis óptima	65	0.15	8	9	0.197	7.27	214	4	
	ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones			
	0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento. 2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible. 4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta. 6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento. 8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente. 10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.					1. Con este ensayo complementario, se puede comprobar que la dosis óptima es 65 mg/l.			
MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 24									

Tabla 51. Pruebas de jarras variando la dosis del floculante con Policloruro de aluminio [Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013] Prueba 2

Prueba 2	Condiciones prueba de jarras				Tipo de coagulante:		Tipo de floculante:		CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA	
	Mezcla rápida:	Mezcla lenta:	Sedimentación:		Policloruro de aluminio	(LIPESA 1560 PWG)	<u>MUESTRA</u> pH: 7.62 Color (UC Pt-Co): 18 Turbiedad (NTU): 12.5 Conductividad (uS/cm): 228 Sólidos suspendidos (mg/l): 24 Temperatura (°C): 13.6 Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013			
	100rpm – 1 min	40 rpm-20min	0 rpm – 20min							
	Prueba de Jarras			Agua sedimentada						
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)		
1	60	0.00	2	16	1.57	7.26	225	12		
2	60	0.10	8	13	0.830	7.29	211	7		
3	60	0.20	8	12	0.718	7.32	221	11		
4	60	0.25	6	14	0.852	7.27	212	13		
Dosis óptima	60	0.15	8	11	0.219	7.34	201	6		
	ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones				
	0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento. 2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible. 4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta. 6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento. 8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente. 10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.					1. Con este ensayo complementario, se puede comprobar que la dosis óptima es 65 mg/l.				
										MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 24

2.5.9.3 Dosis óptima de floculante (Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013).

Tabla 52. Pruebas de jarras variando la dosis del floculante con Sulfato de Aluminio [Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013] Prueba 1

Prueba 1	Condiciones prueba de jarras					Tipo de coagulante: Sulfato de aluminio		Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)		CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA	
	Mezcla rápida: 100rpm – 1 min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min							<u>MUESTRA</u> pH: 7.94 Color (UC Pt-Co): 26 Turbiedad (NTU): 19.0 Conductividad (uS/cm): 205 Sólidos suspendidos (mg/l): 30 Temperatura (°C): 13.3 Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013	
	Prueba de Jarras			Agua sedimentada							
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)			
1	80	0.00	2	23	1.55	6.98	198	20			
2	80	0.10	8	15	0.987	7.03	184	15			
3	80	0.20	8	13	0.628	6.86	179	13			
4	80	0.25	6	17	0.912	6.93	186	18			
Dosis óptima	80	0.15	8	12	0.601	7.01	183	9			
	ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones					
	0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento. 2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible. 4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta. 6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento. 8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente. 10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.					1. Con este ensayo complementario, se puede comprobar que la dosis óptima es 80 mg/l.					
										MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 30	

Tabla 53. Pruebas de jarras variando la dosis del floculante con Sulfato de Aluminio [Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013] Prueba 2

Prueba 2	Condiciones prueba de jarras					Tipo de coagulante: Sulfato de aluminio	Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)	CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA		
	Mezcla rápida: 100rpm – 1 min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min					<u>MUESTRA</u> pH: 7.94 Color (UC Pt-Co): 26 Turbiedad (NTU): 19.0 Conductividad (uS/cm): 205 Sólidos suspendidos (mg/l): 30 Temperatura (°C): 13.3 Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013		
	Prueba de Jarras		Agua sedimentada							
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)		
1	75	0.00	2	21	1.68	6.86	199	21		
2	75	0.10	8	17	0.955	7.12	176	17		
3	75	0.20	8	15	0.738	6.94	186	15		
4	75	0.25	6	18	0.977	6.79	201	19		
Dosis óptima	75	0.15	8	14	0.675	7.66	190	10		
	ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones				
	0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento. 2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible. 4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta. 6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento. 8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente. 10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.					1. Con este ensayo complementario, se puede comprobar que la dosis óptima es 80 mg/l.				
										MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 30

Tabla 54. Pruebas de jarras variando la dosis del floculante con Policloruro de aluminio [Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013] Prueba 1

Prueba 1	Condiciones prueba de jarras								Tipo de coagulante: Policloruro de aluminio	Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)	CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA
	Mezcla rápida: 100rpm – 1 min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min								MUESTRA
											pH: 7.94
	Prueba de Jarras		Agua sedimentada							Color (UC Pt-Co): 26	
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)	Turbiedad (NTU): 19.0		
1	80	0.00	2	19	1.44	6.77	206	18	Conductividad (uS/cm): 205		
2	80	0.10	8	14	0.956	7.35	203	12	Sólidos suspendidos (mg/l): 30		
3	80	0.20	8	15	0.524	6.99	201	11	Temperatura (°C): 13.3		
4	80	0.25	6	16	0.816	6.92	197	15	Fecha de Muestreo:		
Dosis óptima	80	0.15	8	12	0.571	7.53	190	7	13 de Febrero de 2013		
	ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)			Observaciones							
	0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento. 2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible. 4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta. 6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento. 8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente. 10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.			1. Con este ensayo complementario, se puede comprobar que la dosis óptima es 80 mg/l.							
											MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 30

Tabla 55. Pruebas de jarras variando la dosis del floculante con Policloruro de aluminio [Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013] Prueba 2

Prueba	Condiciones prueba de jarras				Tipo de coagulante:		Tipo de floculante:		CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA
2	Mezcla rápida:	Mezcla lenta:	Sedimentación:		Policloruro de aluminio		LIPESA 1560 PWG)		
	100rpm – 1min	40 rpm-20min	0 rpm – 20min						
	Prueba de Jarras			Agua sedimentada					
Jarra	dosis de	dosis de	I. W.	Color	Turbiedad	pH	Conductividad	Sólidos suspendidos	
Nº	coagulante (mg/l)	floculante (mg/l)			(NTU)		uS/cm	(mg/l)	
1	75	0.00	2	21	1.55	7.21	216	19	
2	75	0.10	8	19	0.958	7.11	190	14	
3	75	0.20	8	16	0.588	7.42	216	12	
4	75	0.25	6	18	0.865	7.35	191	17	
Dosis óptima	75	0.15	8	12	0.579	7.57	213	9	
	ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones			
	0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento.					1. Con este ensayo complementario, se puede			
	2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible.					comprobar que la dosis óptima es 80 mg/l.			
	4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta.								
	6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento.								
	8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente.								
	10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.								
	MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 30								

2.5.9.4 Dosis óptima de floculante (Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013).

Tabla 56. Pruebas de jarras variando la dosis del floculante con Sulfato de Aluminio [Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013] Prueba 1

Prueba 1	Condiciones prueba de jarras					Tipo de coagulante: Sulfato de aluminio	Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)	CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA		
	Mezcla rápida: 100rpm – 1min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min					<u>MUESTRA</u> pH: 7.45 Color (UC Pt-Co): 24 Turbiedad (NTU): 11.8 Conductividad (uS/cm): 173 Sólidos suspendidos (mg/l): 22 Temperatura (°C): 13.1 Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013		
	Prueba de Jarras		Agua sedimentada							
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)		
1	70	0.00	2	18	1.18	7.08	211	18		
2	70	0.10	8	12	0.877	7.15	171	15		
3	70	0.20	8	11	0.595	7.22	200	13		
4	70	0.25	6	15	0.914	7.15	183	16		
Dosis óptima	70	0.15	6	9	0.205	7.28	203	10		
	ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones				
	0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento. 2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible. 4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta. 6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento. 8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente. 10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.					1. Con este ensayo complementario, se puede comprobar que la dosis óptima es 70 mg/l.				
										MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 22

Tabla 57. Pruebas de jarras variando la dosis del floculante con Sulfato de Aluminio [Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013] Prueba 2

Prueba 2	Condiciones prueba de jarras				Tipo de coagulante: Sulfato de aluminio	Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)	CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA		
	Mezcla rápida: 100rpm – 1 min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min				MUESTRA pH: 7.45 Color (UC Pt-Co): 24 Turbiedad (NTU): 11.8 Conductividad (uS/cm): 173 Sólidos suspendidos (mg/l): 22 Temperatura (°C): 13.1 Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013		
	Prueba de Jarras		Agua sedimentada						
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)	
1	65	0.00	2	20	1.24	7.10	192	19	
2	65	0.10	8	14	0.905	7.28	170	17	
3	65	0.20	8	13	0.635	7.33	188	15	
4	65	0.25	6	19	0.957	7.08	175	18	
Dosis óptima	65	0.15	8	11	0.236	7.45	201	13	
	ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones			
	0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento. 2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible. 4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta. 6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento. 8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente. 10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.					1. Con este ensayo complementario, se puede comprobar que la dosis óptima es 70 mg/l .			
MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 22									

Tabla 58. Pruebas de jarras variando la dosis del floculante con Policloruro de aluminio [Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013] Prueba 1

Prueba 1	Condiciones prueba de jarras					Tipo de coagulante:	Tipo de floculante:	CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA	
	Mezcla rápida:	Mezcla lenta:	Sedimentación:			Policloruro de aluminio	(LIPESA 1560 PWG)		
	100rpm – 1min	40 rpm-20min	0 rpm – 20min						
	Prueba de Jarras		Agua sedimentada						
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)	
1	70	0.00	2	16	1.13	7.16	213	17	
2	70	0.10	8	10	0.787	7.18	189	14	
3	70	0.20	8	9	0.534	7.26	193	11	
4	70	0.25	6	14	0.877	7.01	170	15	
Dosis óptima	70	0.15	6	9	0.205	7.28	203	10	
	ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)					Observaciones			
	0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento. 2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible. 4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta. 6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento. 8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente. 10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.					1. Con este ensayo complementario, se puede comprobar que la dosis óptima es 70 mg/l.			
MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 22									

Tabla 59. Pruebas de jarras variando la dosis del floculante con Policloruro de aluminio [Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013] Prueba 2

Prueba 2	Condiciones prueba de jarras					Tipo de coagulante: Policloruro de aluminio	Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)	CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA	
	Mezcla rápida: 100rpm – 1 min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min					<u>MUESTRA</u> pH: 7.45 Color (UC Pt-Co): 24 Turbiedad (NTU): 11.8 Conductividad (uS/cm): 173 Sólidos suspendidos (mg/l): 22 Temperatura (°C): 13.1 Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013	
	Prueba de Jarras		Agua sedimentada						
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)	
1	65	0.00	2	16	1.15	7.35	196	18	
2	65	0.10	8	11	0.822	7.22	171	14	
3	65	0.20	8	11	0.585	7.37	185	12	
4	65	0.25	6	17	0.876	7.12	179	16	
Dosis óptima	65	0.15	8	11	0.236	7.45	201	13	
	ÍNDICE DE WILLCOMB (I. W.)				Observaciones				
	0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento. 2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible. 4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta. 6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento. 8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente. 10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.				1. Con este ensayo complementario, se puede comprobar que la dosis óptima es 70 mg/l .				
MUESTRA CON : Sólidos Suspendidos (mg/l) : 22									

2.5.10 Gradiente y tiempo óptimo de floculación. Con muestras a condiciones óptimas de dosificación.

2.5.10.1 Gradiente y tiempo óptimo de floculación [SSo = 26 – SSo =24]

Tabla 60. Datos obtenidos en pruebas de gradiente y tiempo óptimo de floculación a 40 r.p.m. [SSo = 26 – SSo =24] Prueba 1

Prueba 1	Condiciones prueba de jarras				Condiciones Optimas		AGUA CRUDA DICIEMBRE		
	Mezcla rápida: 100rpm – 1min	Mezcla lenta: G = 26 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min		Tipo de coagulante: Sulfato de aluminio 60 mg/l -65mg/l	Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG) 0.15 mg/l – 0.15 mg/l	pH: 7.4 Color (UC Pt-Co): 22 Turbiedad (NTU): 11.2 Sólidos suspendidos (mg/l): 26 Temperatura (°C): 14.3 Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012		
	Prueba de Jarras								
Jarra №	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	Tiempo (min)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Sólidos suspendidos (mg/l)	AGUA CRUDA ENERO pH: 7.62 Color (UC Pt-Co): 18 Turbiedad (NTU): 12.5 Conductividad (uS/cm): 228 Sólidos suspendidos (mg/l): 24 Temperatura (°C): 13.6 Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013
---	---	---	0	---	21	12.0	7.38	26	
---	---	---	7	---	---	---	---	---	
---	---	---	13	---	---	---	---	---	
1	60	0.15	17	4	17	6.64	7.36	24	
---	---	---	20	---	---	---	---	---	
2	60	0.15	23	6	15	5.24	7.45	19	
---	---	---	27	---	---	---	---	---	
3	60	0.15	30	8	11	0.388	7.24	5	
---	---	---	33	---	---	---	---	---	
4	60	0.15	37	8	11	0.422	7.27	6	
---	---	---	40	---	---	---	---	---	
5	60	0.15	43	8	11	0.558	7.13	6	
6	60	0.15	50	8	12	1.77	7.24	11	

Tabla 61. Datos obtenidos en pruebas de gradiente y tiempo óptimo de floculación a 60 r.p.m. [SSo = 26 – SSo =24] Prueba 2

Prueba 2	Condiciones prueba de jarras				Condiciones Optimas				AGUA CRUDA DICIEMBRE
	Mezcla rápida: 100rpm – 1min	Mezcla lenta: G = 42 60 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min		Tipo de coagulante: Sulfato de aluminio 60 mg/l -65mg/l	Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG) 0.15 mg/l – 0.15 mg/l	pH: 7.4 Color (UC Pt-Co): 22 Turbiedad (NTU): 11.2 Sólidos suspendidos (mg/l): 26 Temperatura (°C): 14.3 Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012		
	Prueba de Jarras								
Jarra №	dosís de coagulante (mg/l)	dosís de floculante (mg/l)	Tiempo (min)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Sólidos suspendidos (mg/l)	
---	---	---	0	---	21	12.0	7.24	26	AGUA CRUDA ENERO
---	---	---	7	---	---	---	---	---	
---	---	---	13	---	---	---	---	---	pH: 7.62 Color (UC Pt-Co): 18 Turbiedad (NTU): 12.5 Conductividad (uS/cm): 228 Sólidos suspendidos (mg/l): 24 Temperatura (°C): 13.6 Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013
1	60	0.15	17	4	19	7.68	7.17	25	
---	---	---	20	---	---	---	---	---	
2	60	0.15	23	6	14	5.94	7.32	21	
---	---	---	27	---	---	---	---	---	
3	60	0.15	30	8	12	0.425	7.25	7	
---	---	---	33	---	---	---	---	---	
4	60	0.15	37	8	12	0.488	7.23	6	
---	---	---	40	---	---	---	---	---	
5	60	0.15	43	8	12	0.595	7.17	8	
6	60	0.15	50	8	13	1.61	7.18	12	

2.5.10.2 Gradiente y tiempo óptimo de floculación [SSo = 30 – SSo =22]

Tabla 62. Datos obtenidos en pruebas de gradiente y tiempo óptimo de floculación a 40 r.p.m. [SSo = 30 – SSo =22] Prueba 1

Prueba 1	Condiciones prueba de jarras			Condiciones Optimas					AGUA CRUDA FEBRERO
	Mezcla rápida: 100rpm – 1min	Mezcla lenta: G = 26 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min			Tipo de coagulante: Sulfato de aluminio 80 mg/l -70mg/l	Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG) 0.15 mg/l – 0.15 mg/l	pH: 7.94 Color (UC Pt-Co): 26 Turbiedad (NTU): 19.0 Conductividad (uS/cm): 205 Sólidos suspendidos (mg/l): 30 Temperatura (°C): 13.3 Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013	
	Prueba de Jarras								
Jarra №	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	Tiempo (min)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Sólidos suspendidos (mg/l)	
---	---	---	0	---	26	15.0	7.67	28	AGUA CRUDA MARZO
---	---	---	7	---	---	---	---	---	
---	---	---	13	---	---	---	---	---	
1	70	0.15	17	4	22	9.46	7.01	17	pH: 7.45 Color (UC Pt-Co): 24 Turbiedad (NTU): 11.8 Conductividad (uS/cm): 173 Sólidos suspendidos (mg/l): 22 Temperatura (°C): 13.1 Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013
---	---	---	20	---	---	---	---	---	
2	70	0.15	23	6	19	5.85	7.11	14	
---	---	---	27	---	---	---	---	---	
3	70	0.15	30	8	15	0.783	7.56	10	
---	---	---	33	---	---	---	---	---	
4	70	0.15	37	8	14	0.847	7.26	10	
---	---	---	40	---	---	---	---	---	
5	70	0.15	43	8	14	0.975	7.31	11	
6	70	0.15	50	8	17	2.59	7.28	11	

Tabla 63. Datos obtenidos en pruebas de gradiente y tiempo óptimo de floculación a 60 r.p.m. [SSo = 30 – SSo =22] Prueba 2

Prueba 2	Condiciones prueba de jarras				Condiciones Optimas		AGUA CRUDA FEBRERO		
	Mezcla rápida: 100rpm – 1min	Mezcla lenta: G = 42 60 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min		Tipo de coagulante: Sulfato de aluminio 80 mg/l -70mg/l	Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG) 0.15 mg/l – 0.15 mg/l	pH: 7.94 Color (UC Pt-Co): 26 Turbiedad (NTU): 19.0 Conductividad (uS/cm): 205 Sólidos suspendidos (mg/l): 30 Temperatura (°C): 13.3 Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013		
	Prueba de Jarras								
Jarra №	dosís de coagulante (mg/l)	dosís de floculante (mg/l)	Tiempo (min)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Sólidos suspendidos (mg/l)	
---	---	---	0	---	26	15.0	7.67	28	AGUA CRUDA MARZO
---	---	---	7	---	---	---	---	---	
---	---	---	13	---	---	---	---	---	
1	70	0.15	17	4	22	9.97	7.38	21	pH: 7.45 Color (UC Pt-Co): 24 Turbiedad (NTU): 11.8 Conductividad (uS/cm): 173 Sólidos suspendidos (mg/l): 22 Temperatura (°C): 13.1 Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013 1
---	---	---	20	---	---	---	---	---	
2	70	0.15	23	6	20	7.21	7.25	18	
---	---	---	27	---	---	---	---	---	
3	70	0.15	30	8	16	0.798	7.35	12	
---	---	---	33	---	---	---	---	---	
4	70	0.15	37	8	17	0.912	7.17	13	
---	---	---	40	---	---	---	---	---	
5	70	0.15	43	8	18	0.987	7.44	15	
6	70	0.15	50	8	19	2.010	7.33	15	

AGUA CRUDA MARZO

pH: 7.45
 Color (UC Pt-Co): 24
 Turbiedad (NTU): 11.8
 Conductividad (uS/cm): 173
 Sólidos suspendidos (mg/l): 22
 Temperatura (°C): 13.1
 Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013

2.5.11 Reporte de análisis del agua a las condiciones óptimas

2.5.11.1 Reporte de análisis del agua a las condiciones óptimas [Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012]

Tabla 64. Reporte de análisis del agua (Parámetros físicos) [Fecha de Muestreo: Diciembre de 2012]

PROCEDENCIA: PLANTA DE CONOCOTO

CONDICIONES ÓPTIMAS: 60mg/l (coagulante)– 0.15mg/L (Floculante)

CONDICIONES DE TRABAJO: 55mg/l (Coagulantes) – 0.15mg/L (Floculante)

COAGULANTE: Sulfato de aluminio

PARÁMETRO	UNIDAD	NORMA NTE INEN 1108:2011 Cuarta Revisión	MÉTODO DE ANÁLISIS	AGUA CRUDA (Experimentación)	AGUA SEDIMENTADA (Experimentación)
		LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE			
PARÁMETROS FÍSICOS					
TEMPERATURA	°C	-	Termométrico	14.3	13.8
pH	-	-	Electrométrico	7.4	7.28
COLOR	Pt-Co	15	Comparación visual Platino Cobalto	22	10
TURBIEDAD	NTU	5	Nefelométrico	11.2	0.304
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	-	Conductivimétrico	236	235
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	mg/l	-	Gravimétrico	26	3

Tabla 65. Reporte de análisis del agua (Parámetros inorgánicos) [Fecha de Muestreo: Diciembre de 2012]

ALCALINIDAD (CaCO ₃)	mg/l	-	Titulométrico (H ₂ SO ₄)	78	67.3
DUREZA TOTAL (CaCO ₃)	mg/l	-	Titulométrico (EDTA)	78,0	72.0
CALCIO (Ca ²⁺)	mg/l	-	Titulométrico (EDTA)	14,4	14.0
MAGNESIO (Mg ²⁺)	mg/l	-	Cálculo	10.24	9.02
MANGANESO (Mn ²⁺)	mg/l	0,4	Espectrofotométrico (Persulfato)	0,00	0.00
ALUMINIO (Al ³⁺)	mg/l	-	Espectrofotométrico (Eriocromo cianina R)	0,012	0.304
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/l	-	Espectrofotométrico (Fenantrolina)	0,60	0.07
FLUORUROS (F ⁻)	mg/l	1,5	Espectrofotométrico (Spands)	0,53	0.37
AMONIACO (NH ₃)	mg/l	-	Espectrofotométrico (Nesslerización)	0,48	0.31
NITRITOS (NO ₂ ⁻)	mg/l	0,2	Espectrofotométrico (Diazotación)	0,054	0.036
NITRATOS (NO ₃ ⁻)	mg/l	50	Espectrofotométrico (Reducción cadmio)	3,43	6.0
SULFATOS (SO ₄ ²⁻)	mg/l	-	Espectrofotométrico (Turbidimétrico)	16	24
FOSFATOS (PO ₄ ³⁻)	mg/l	-	Espectrofotométrico (Ácido ascórbico)	0,29	0.08
SÍLICE SiO ₂	mg/l	-	Espectrofotométrico (Molibdosilicato)	43.0	43.1

2.5.11.2 Reporte de análisis del agua a las condiciones óptimas [Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013]

Tabla 66. Reporte de análisis del agua (Parámetros físicos) [Fecha de Muestreo: Enero de 2013]

PROCEDENCIA: PLANTA DE CONOCOTO					
CONDICIONES ÓPTIMAS: 65mg/l (Coagulante) – 0.15mg/L (Floculante)					
CONDICIONES DE TRABAJO: 60mg/l (Coagulante) – 0.15mg/L (Floculante)					
COAGULANTE: Sulfato de aluminio					

PARÁMETRO	UNIDAD	NORMA NTE INEN 1108:2011 Cuarta Revisión	MÉTODO DE ANÁLISIS	AGUA CRUDA (Experimentación)	AGUA SEDIMENTADA (Experimentación)
		LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE			
PARÁMETROS FÍSICOS					
TEMPERATURA	°C	-	Termométrico	13.6	13.6
pH	-	-	Electrométrico	7.62	7.38
COLOR	Pt-Co	15	Comparación visual Platino Cobalto	18	9
TURBIEDAD	NTU	5	Nefelométrico	12.5	0.211
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	-	Conductivimétrico	228	210
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	mg/l	-	Gravimétrico	24	5

Tabla 67. Reporte de análisis del agua (Parámetros inorgánicos) [Fecha de Muestreo: Enero de 2013]

ALCALINIDAD (CaCO₃)	mg/l	-	Titulométrico (H ₂ SO ₄)	78	71
DUREZA TOTAL (CaCO₃)	mg/l	-	Titulométrico (EDTA)	78,0	73.0
CALCIO (Ca²⁺)	mg/l	-	Titulométrico (EDTA)	14,4	14.1
MAGNESIO (Mg²⁺)	mg/l	-	Cálculo	10.24	9.02
MANGANESO (Mn²⁺)	mg/l	0,4	Espectrofotométrico (Persulfato)	0,00	0.00
ALUMINIO (Al³⁺)	mg/l	-	Espectrofotométrico (Eriocromo cianina R)	0,012	0.568
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/l	-	Espectrofotométrico (Fenantrolina)	0,60	0.09
FLUORUROS (F⁻)	mg/l	1,5	Espectrofotométrico (Spands)	0,43	0.22
AMONIACO (NH₃)	mg/l	-	Espectrofotométrico (Nesslerización)	0,48	0.23
NITRITOS (NO₂⁻)	mg/l	0,2	Espectrofotométrico (Diazotación)	0,053	0.041
NITRATOS (NO₃⁻)	mg/l	50	Espectrofotométrico (Reducción cadmio)	6.04	4.90
SULFATOS (SO₄²⁻)	mg/l	-	Espectrofotométrico (Turbidimétrico)	16	32
FOSFATOS (PO₄³⁻)	mg/l	-	Espectrofotométrico (Ácido ascórbico)	0,29	0.11
SÍLICE SiO₂	mg/l	-	Espectrofotométrico (Molibdosilicato)	43.0	44.2

2.5.11.3 Reporte de análisis del agua a las condiciones óptimas [Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013]

Tabla 68. Reporte de análisis del agua (Parámetros físicos) [Fecha de Muestreo: Febrero de 2013]

PROCEDENCIA: PLANTA DE CONOCOTO					
CONDICIONES ÓPTIMAS: 80mg/l (Coagulante) – 0.15mg/L (Floculante)					
CONDICIONES DE TRABAJO: 70mg/l (Coagulante)– 0.15mg/L (Floculante)					
COAGULANTE: Sulfato de aluminio					

PARÁMETRO	UNIDAD	NORMA NTE INEN 1108:2011 Cuarta Revisión	MÉTODO DE ANÁLISIS	AGUA CRUDA (Experimentación)	AGUA SEDIMENTADA (Experimentación)	
		LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE				
PARÁMETROS FÍSICOS						
TEMPERATURA	°C	-	Termométrico	13.3	13.1	
pH	-		-	Electrométrico	7.94	7.61
COLOR	Pt-Co		15	Comparación visual Platino Cobalto	26	12
TURBIEDAD	NTU		5	Nefelométrico	19	0.601
CONDUCTIVIDAD	uS/cm		-	Conductivimétrico	205	183
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	mg/l		-	Gravimétrico	30	9

Tabla 69. Reporte de análisis del agua (Parámetros inorgánicos) [Fecha de Muestreo: Febrero de 2013]

ALCALINIDAD (CaCO₃)	mg/l	-	Titulométrico (H ₂ SO ₄)	78	69
DUREZA TOTAL (CaCO₃)	mg/l	-	Titulométrico (EDTA)	68,0	64.0
CALCIO (Ca²⁺)	mg/l	-	Titulométrico (EDTA)	12.8	12.4
MAGNESIO (Mg²⁺)	mg/l	-	Cálculo	8.78	8.05
MANGANESO (Mn²⁺)	mg/l	0,4	Espectrofotométrico (Persulfato)	0,00	0.00
ALUMINIO (Al³⁺)	mg/l	-	Espectrofotométrico (Eriocromo cianina R)	0,011	0.260
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/l	-	Espectrofotométrico (Fenantrolina)	0,91	0.07
FLUORUROS (F⁻)	mg/l	1,5	Espectrofotométrico (Spands)	0,53	0.39
AMONIACO (NH₃)	mg/l	-	Espectrofotométrico (Nesslerización)	0.40	0.21
NITRITOS (NO₂⁻)	mg/l	0,2	Espectrofotométrico (Diazotación)	0,050	0.047
NITRATOS (NO₃⁻)	mg/l	50	Espectrofotométrico (Reducción cadmio)	3,68	4.50
SULFATOS (SO₄²⁻)	mg/l	-	Espectrofotométrico (Turbidimétrico)	16	31
FOSFATOS (PO₄³⁻)	mg/l	-	Espectrofotométrico (Ácido ascórbico)	0,33	0.10
SÍLICE SiO₂	mg/l	-	Espectrofotométrico (Molibdosilicato)	49.0	44.3

2.5.11.4 Reporte de análisis del agua a las condiciones óptimas [Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013]

Tabla 70. Reporte de análisis del agua (Parámetros físicos) [Fecha de Muestreo: Marzo de 2013]

PROCEDENCIA: PLANTA DE CONOCOTO					
CONDICIONES ÓPTIMAS: 70mg/l (Coagulante) – 0.15mg/L (Floculante)					
CONDICIONES DE TRABAJO: 65mg/l (Coagulante) – 0.15mg/L (Floculante)					
COAGULANTE: Sulfato de aluminio					

PARÁMETRO	UNIDAD	NORMA NTE INEN 1108:2011 Cuarta Revisión	MÉTODO DE ANÁLISIS	AGUA CRUDA (Experimental)	AGUA SEDIMENTADA (Experimentación)	
		LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE				
PARÁMETROS FÍSICOS						
TEMPERATURA	°C	-	Termométrico	13.1	12.7	
pH	-		-	Electrométrico	7.45	7.28
COLOR	Pt-Co		15	Comparación visual Platino Cobalto	24	9
TURBIEDAD	NTU		5	Nefelométrico	11.8	0.205
CONDUCTIVIDAD	uS/cm		-	Conductivimétrico	173	203
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	mg/l		-	Gravimétrico	22	10

Tabla 71. Reporte de análisis del agua (Parámetros inorgánicos) [Fecha de Muestreo: Marzo de 2013]

ALCALINIDAD (CaCO ₃)	mg/l	-	Titulométrico (H ₂ SO ₄)	83.3	62
DUREZA TOTAL (CaCO ₃)	mg/l	-	Titulométrico (EDTA)	71.4	66.0
CALCIO (Ca ²⁺)	mg/l	-	Titulométrico (EDTA)	13.76	12.32
MAGNESIO (Mg ²⁺)	mg/l	-	Cálculo	9.02	8.34
MANGANESO (Mn ²⁺)	mg/l	0,4	Espectrofotométrico (Persulfato)	0.00	0.00
ALUMINIO (Al ³⁺)	mg/l	-	Espectrofotométrico (Eriocromo cianina R)	0.01	0.336
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/l	-	Espectrofotométrico (Fenantrolina)	0.77	0.09
FLUORUROS (F ⁻)	mg/l	1,5	Espectrofotométrico (Spands)	0.3	0.34
AMONIACO (NH ₃)	mg/l	-	Espectrofotométrico (Nesslerización)	0.23	0.33
NITRITOS (NO ₂ ⁻)	mg/l	0,2	Espectrofotométrico (Diazotación)	0.056	0.04
NITRATOS (NO ₃ ⁻)	mg/l	50	Espectrofotométrico (Reducción cadmio)	5.3	5.6
SULFATOS (SO ₄ ²⁻)	mg/l	-	Espectrofotométrico (Turbidimétrico)	21	33
FOSFATOS (PO ₄ ³⁻)	mg/l	-	Espectrofotométrico (Ácido ascórbico)	1.12	0.10
SÍLICE SiO ₂	mg/l	-	Espectrofotométrico (Molibdosilicato)	37.8	47.7

2.6 Velocidad de sedimentación.

2.6.1 Sedimentación con floculación. La altura de la columna es aproximadamente la misma que la del tanque de sedimentación que se pretende diseñar. Con fines prácticos se puede disponer de una columna de sedimentación de unos 2m de altura, disponiendo de aberturas para muestreo a profundidades de 0.4; 0.8; 1.2; 1.6 y 2,0m.

Los datos obtenidos en dichos puntos se utilizan para determinar la velocidad de sedimentación y su relación con el tiempo de retención. Los datos del punto de muestreo a 2.0 m se utilizan para determinaciones de compactación de los lodos.

Los criterios de diseño para sistemas en los que se hace una sedimentación con floculación se establecen a través de ensayos de sedimentación de laboratorio, según el siguiente diagrama.

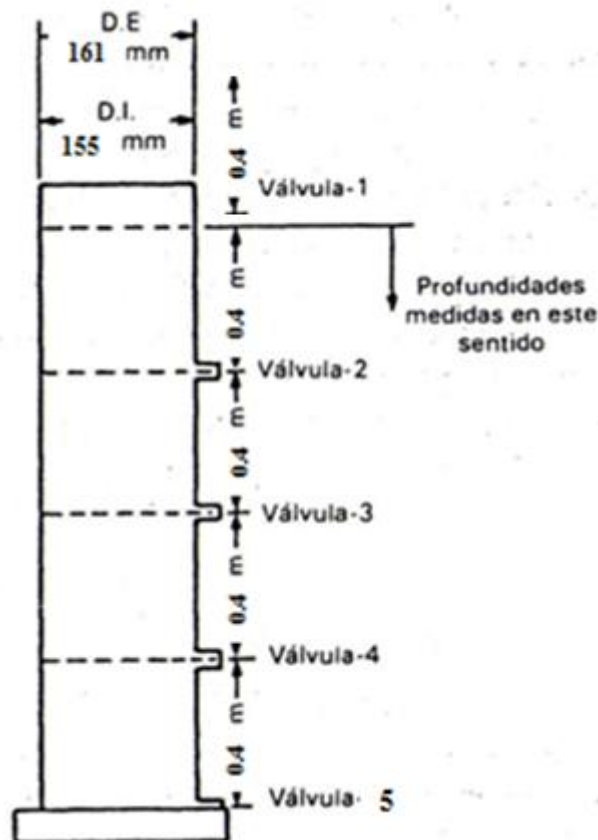


Figura 32. Esquema de la columna de sedimentación a nivel de laboratorio.

2.6.2 Experimentación a las condiciones más altas de Sólidos Suspendidos. La suspensión que va a ser sometida al ensayo tiene una concentración inicial de sólidos en suspensión de **26 mg/l** (SS₀) y **30 mg/l** (SS₀) respectivamente. La concentración de los sólidos en suspensión (denominada a partir de ahora abreviadamente SS) mostrada en la tabla 72 son el resultado de mediciones, en tiempos determinados, en los puntos de muestreo, a las profundidades indicadas.

Estos datos se utilizarán para obtener las curvas: (a) % SS eliminado para distintos tiempos de retención (min); (b) %SS eliminado con respecto a la carga superficial ($\text{m}^3/\text{d} \cdot \text{m}^2$), y (c) %SS que permanece (fracción de las partículas con velocidad inferior a la establecida) con respecto a la velocidad de sedimentación (m/h).

Tabla 72. Datos de sedimentación en laboratorio

Concentraciones de SS a las profundidades indicadas								
	[Diciembre- Enero] {26 SS ₀ }				[Febrero - Marzo] {30 SS ₀ }			
Tiempo (min)	0.4m (válvula 1)	0.8m (válvula 2)	1.2m (válvula 3)	1.6m (válvula 4)	0.4m (válvula 1)	0.8m (válvula 2)	1.2m (válvula 3)	1.6m (válvula 4)
5	19	21	23	24	22	25	27	28
10	16	19	21	22	19	22	24	26
20	12	15	18	19	14	17	21	22
30	9	12	15	17	10	14	18	20
40	7	9	14	15	8	11	16	17
50	4	7	13	14	5	8	14	16
60	3	6	11	12	4	7	12	14

3 CALCULOS Y RESULTADOS

3.1 Cálculos

3.1.1 Cálculo del caudal de dosificación de sulfato de aluminio líquido y floculante.

3.1.1.1 Sulfato de Aluminio; Cálculo Modelo: [Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012].

Se aplica la ecuación de dosificación expuesta anteriormente.

Características Agua Cruda

pH: 7.4

Color (UC Pt-Co): 22

Turbiedad (NTU): 11.2

Densidad del sulfato de aluminio: 1.314 g/ml

Caudal promedio: 216 l/s

Concentración de la solución de polímero: 2.272 mg/ml

Concentración óptima: 60mg/l – 0.15mg/l

$$V = \frac{Q \times D \times T}{1000 \times d}$$

Dónde:

V = Volumen de aluminio líquido aplicado en un determinado tiempo en ml.

Q = Caudal de tratamiento en l/s. (216 [l/s])

D = Dosis óptimo de sulfato de aluminio líquido obtenida de la prueba de jarras en mg/l.

T = Tiempo en segundos. (15 [s])

d = Densidad del sulfato de aluminio líquido (1.314 g/ml)

1000 = Factor de transformación de gramos a miligramos.

3.1.1.2 Floculante (LIPESA 1560 PGW) [Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012].

Se aplica la ecuación de dosificación expuesta anteriormente.

$$V = \frac{Q \times D \times T}{C}$$

Dónde:

V = Caudal de la solución de polímero que resulta de aplicar en un determinado tiempo en ml/s.

Q = Caudal de tratamiento en l/s (216 [l/s])

D = Dosis óptima de polímero en mg/l (0.15 [mg/l])

T = Tiempo en segundos (15 [s])

C = Concentración de la solución de polímero (2.272 [mg/ml])

Tabla 73. Valores de volumen de dosificación

Meses	Datos de operación		Volumen de dosificación (Planta)		Volumen de dosificación (Calculados a partir de las pruebas de laboratorio)	
	Caudal Promedio de Tratamiento (l/s)	Concentración de la solución de polímero (g/l)	Sulfato de aluminio (ml)	Floculante catiónico (ml)	Sulfato de aluminio (ml)	Floculante catiónico (ml)
Diciembre	216	2.272	134	194	147.945	213.908
Enero	206	2.372	153	185	152.853	195.40
Febrero	222	2.389	204	201	202.739	209.083
Marzo	210	2.342	-----	-----	167.808	213.188

3.1.2 Análisis de los datos de las pruebas de jarras. Una vez recopilados los datos obtenidos en las pruebas de jarras se realizará graficas que expliquen el comportamiento de la dosificación del coagulante.

3.1.2.1 Comportamiento del Sulfato de Aluminio [Muestreo: 17 de Diciembre de 2012].

Tabla 74. Recopilación de datos prueba de jarras (SSo = 26 mg/l)

Dosis (mg/l)	Color (Pt-Co)	Turbiedad (NTU)	SS (mg/l)
30	16	0,599	6
40	14	0,586	4
45	13	0,435	6
50	11	0,384	4
52	12	0,357	5
54	11	0,342	5
55	10	0,355	4
56	10	0,368	4
58	10	0,318	4
60	10	0,304	3
62	11	0,312	4
64	10	0,384	4
65	10	0,402	5
66	12	0,409	5
68	12	0,446	6
70	13	0,476	5
75	14	0,481	6
80	15	0,495	8
85	15	0,5	10
90	13	0,504	10

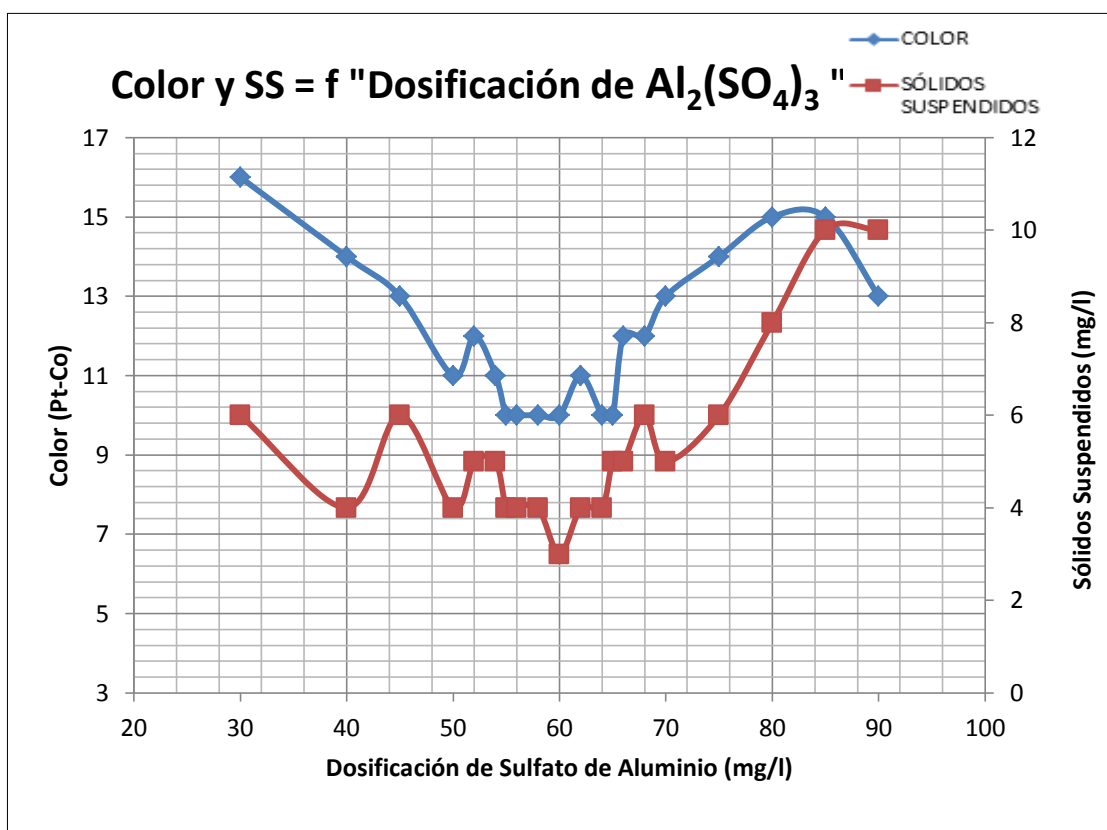


Gráfico 1. Color y Sólidos Suspensos en función de la dosificación de Sulfato de Aluminio
[Muestra con SSo= 26 mg/l]

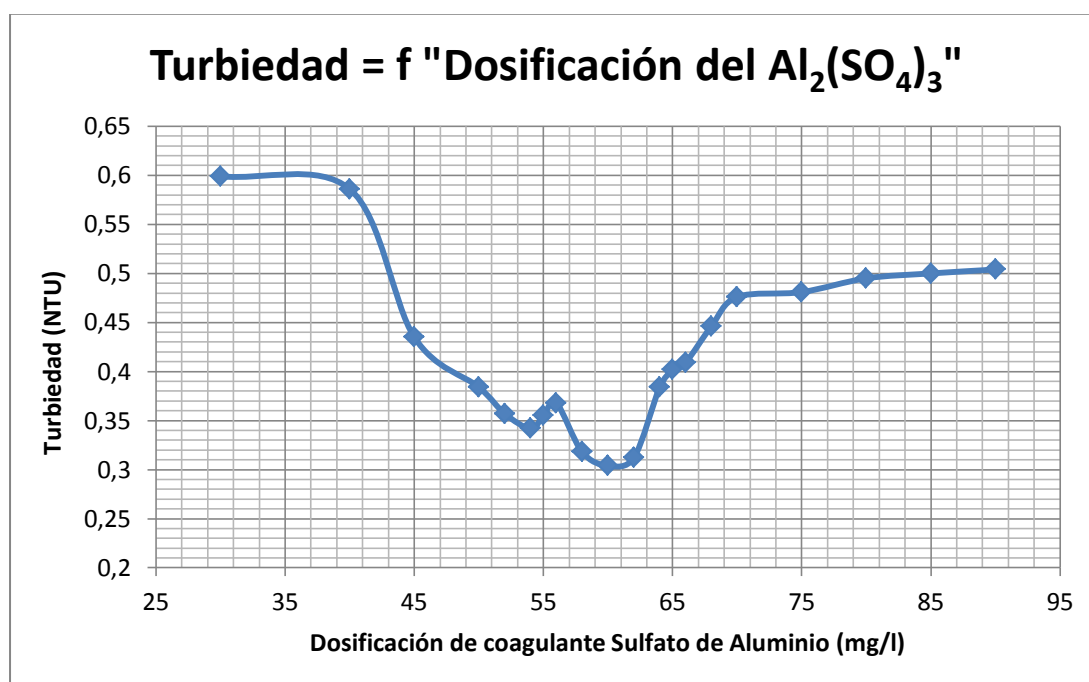


Gráfico 2. Turbiedad en función de la dosificación de Sulfato de Aluminio
[Muestra con SSo= 26 mg/l]

3.1.2.2 Comportamiento del Sulfato de Aluminio [Muestreo: 04 de Enero de 2013].

Tabla 75. Recopilación de datos prueba de jarras (SSo = 24 mg/l)

Dosis (mg/l)	Color (Pt-Co)	Turbiedad (NTU)	SS (mg/l)
30	15	0,63	10
40	14	0,489	8
45	15	0,312	9
50	14	0,378	8
52	14	0,326	5
54	13	0,255	5
55	13	0,271	7
56	12	0,266	4
58	11	0,274	4
60	10	0,259	6
62	10	0,248	4
64	10	0,232	4
65	9	0,221	5
66	9	0,219	5
68	11	0,239	6
70	12	0,242	7
75	14	0,269	9
80	15	0,323	8
85	16	0,31	10
90	20	0,359	12

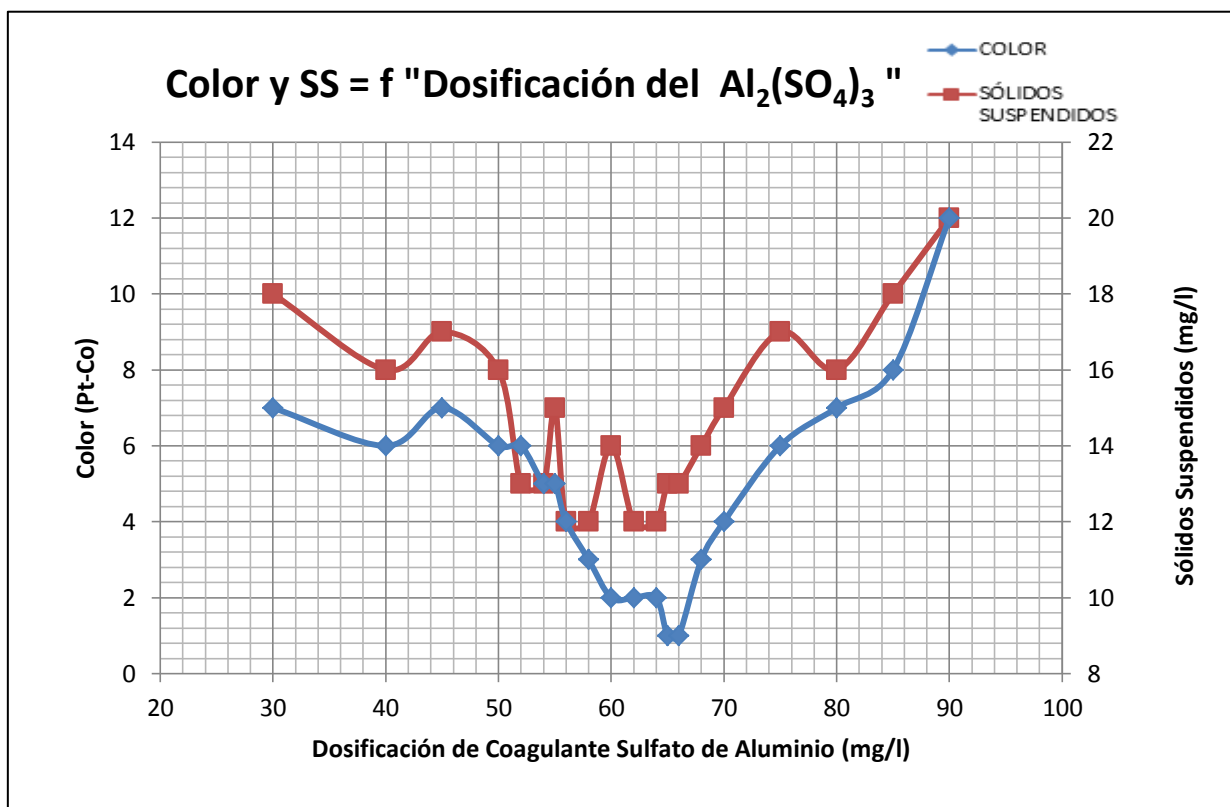


Gráfico 3. Color y Sólidos Suspendedos en función de la dosificación de Sulfato de Aluminio
[Muestra con SSo= 24 mg/l]

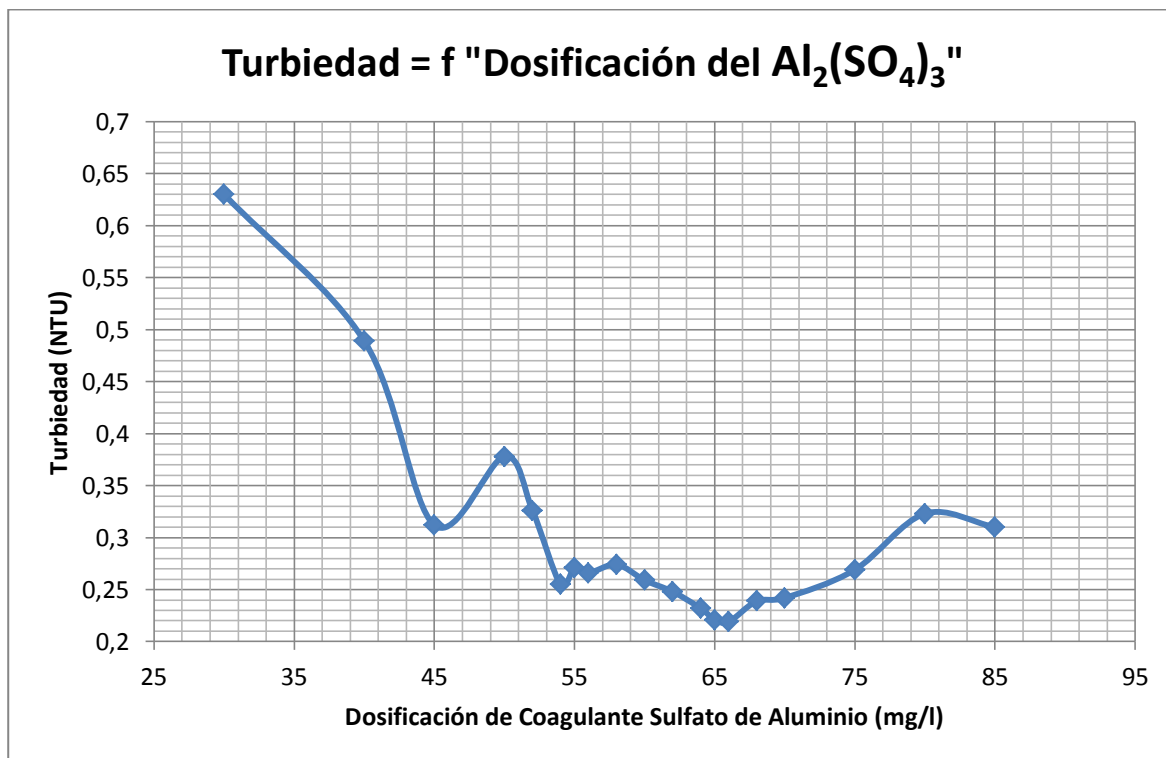


Gráfico 4. Turbiedad en función de la dosificación de Sulfato de Aluminio
[Muestra con SSo= 24 mg/l]

3.1.2.3 Comportamiento del Sulfato de Aluminio [Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013].

Tabla76. Recopilación de datos prueba de jarras (SSo = 30 mg/l)

Dosis (mg/l)	Color (Pt-Co)	Turbiedad (NTU)	SS (mg/l)
30	20	1,11	24
40	17	1,08	22
45	15	1,03	19
50	16	0,998	18
52	14	0,686	11
54	13	0,672	12
55	13	0,857	18
56	12	0,634	10
58	11	0,61	10
60	14	0,765	16
62	10	0,613	9
64	10	0,622	8
65	14	0,701	13
66	9	0,649	11
68	11	0,661	12
70	14	0,678	11
75	14	0,675	10
80	12	0,601	9
85	16	0,638	11
90	13	0,655	13

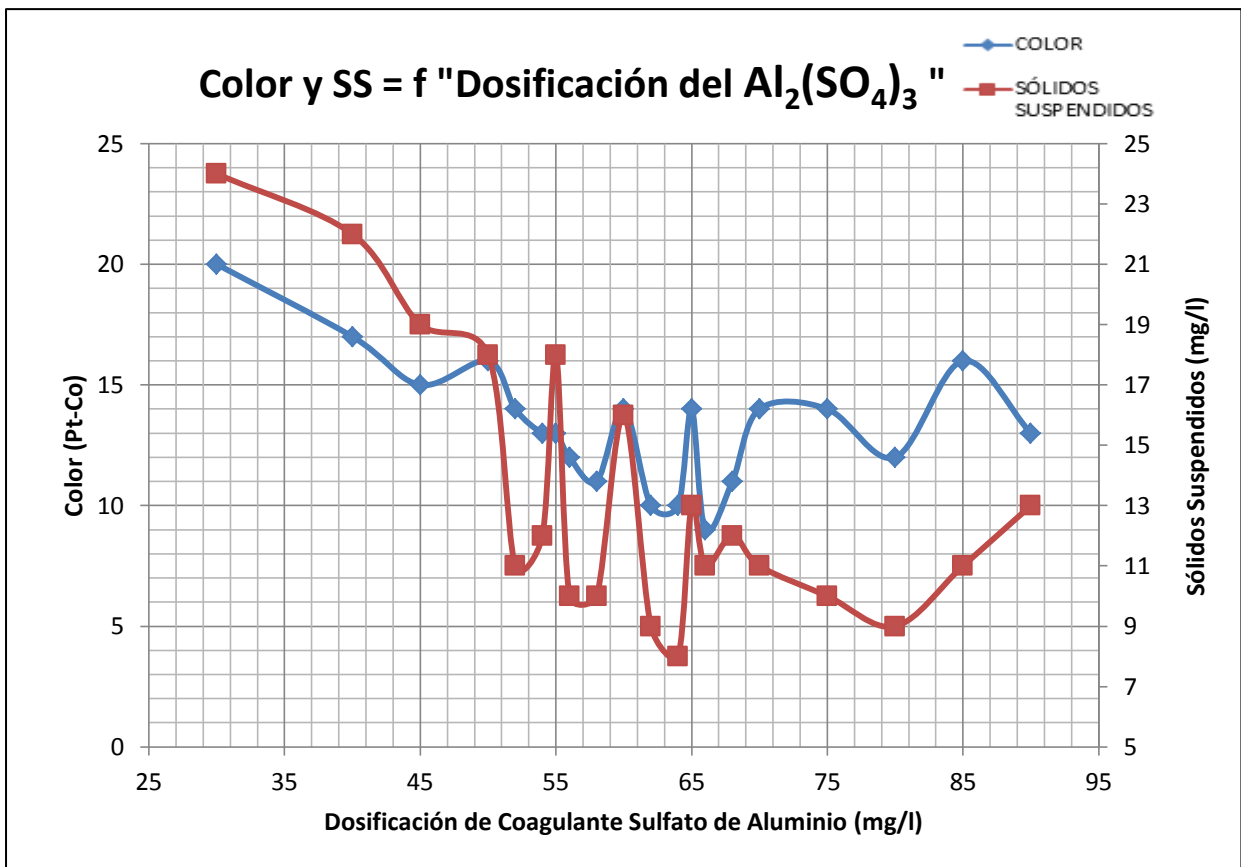


Gráfico 5. Color y Sólidos Suspensos en función de la dosificación de Sulfato de Aluminio
[Muestra con SSo= 30 mg/l]

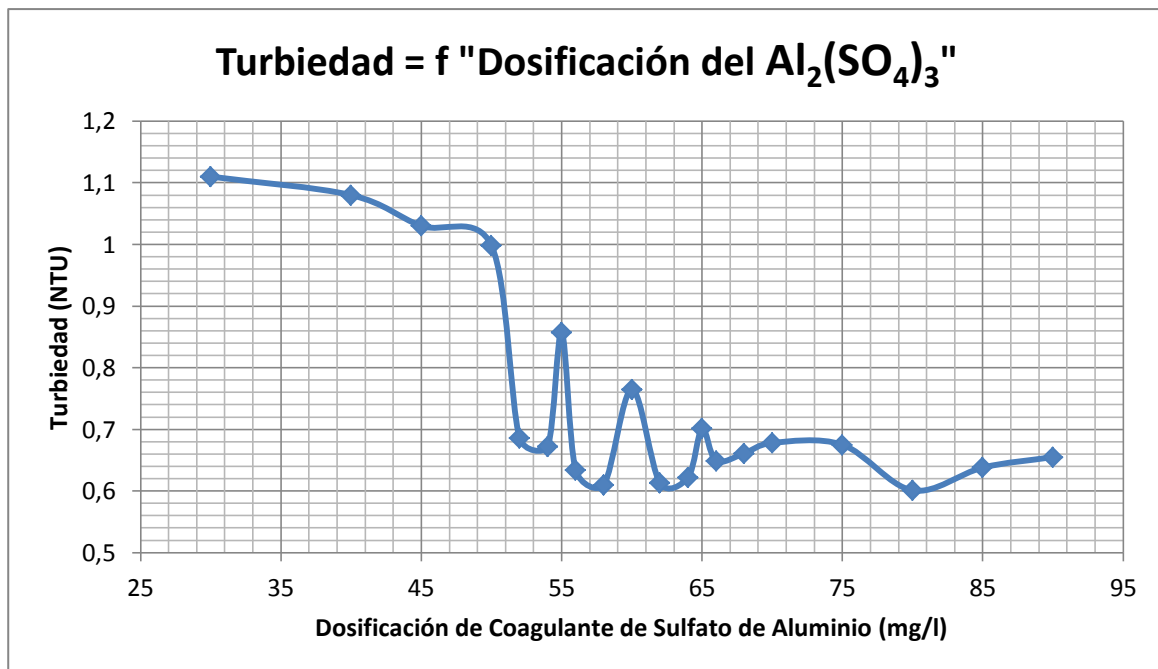


Gráfico 6. Turbiedad en función de la dosificación de Sulfato de Aluminio
[Muestra con SSo= 30 mg/l]

3.1.2.4 Comportamiento del Sulfato de Aluminio [Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013].

Tabla 77. Recopilación de datos prueba de jarras (SSo = 22 mg/l)

Dosis (mg/l)	Color (Pt-Co)	Turbiedad (NTU)	SS (mg/l)
30	22	0,451	18
40	17	0,423	16
45	15	0,301	17
50	15	0,326	16
52	10	0,255	13
54	10	0,238	12
55	13	0,287	16
56	12	0,228	12
58	12	0,21	11
60	12	0,267	15
62	10	0,214	10
64	10	0,265	12
65	11	0,236	13
66	12	0,296	12
68	12	0,302	14
70	9	0,205	10
75	10	0,278	11
80	12	0,322	12
85	14	0,388	14
90	16	0,459	13

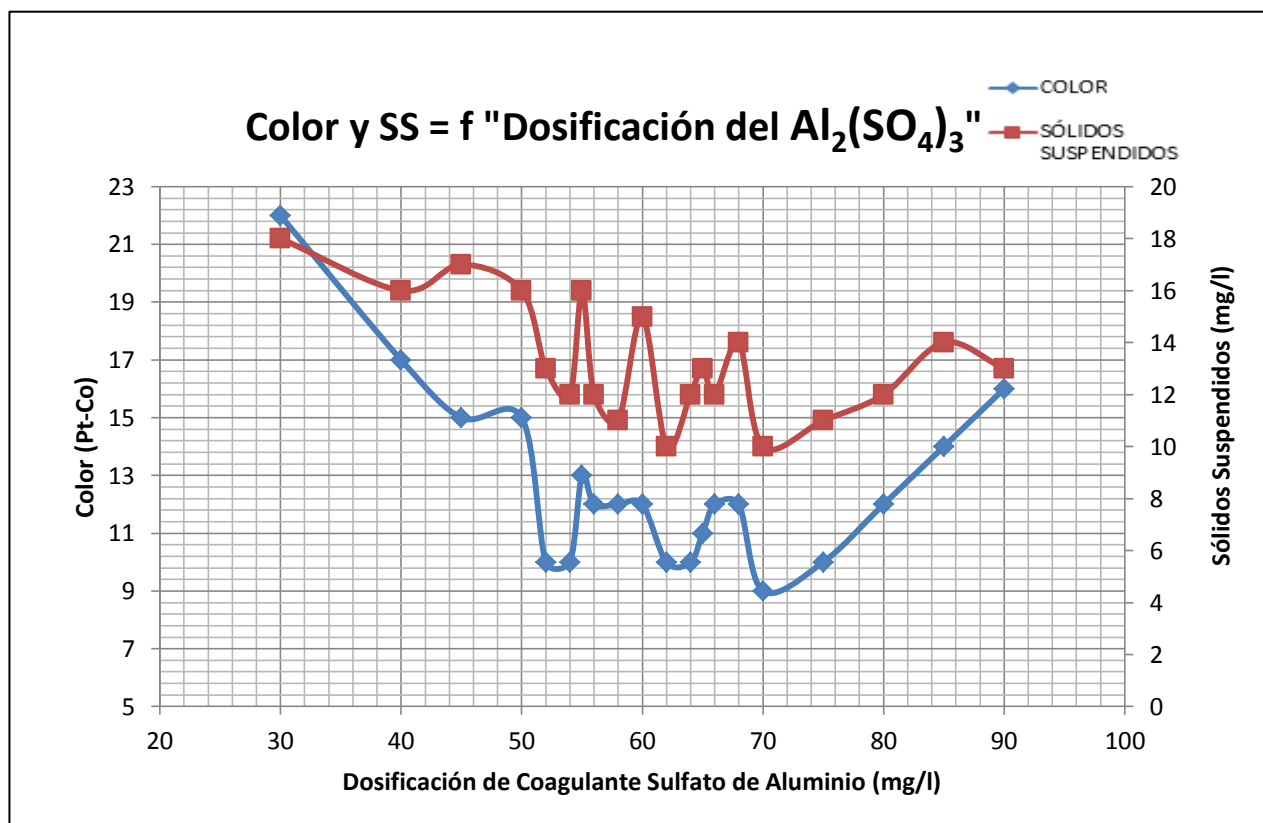


Gráfico 7. Color y Sólidos Suspensos en función de la dosificación de Sulfato de Aluminio
[Muestra con SSo= 22 mg/l]

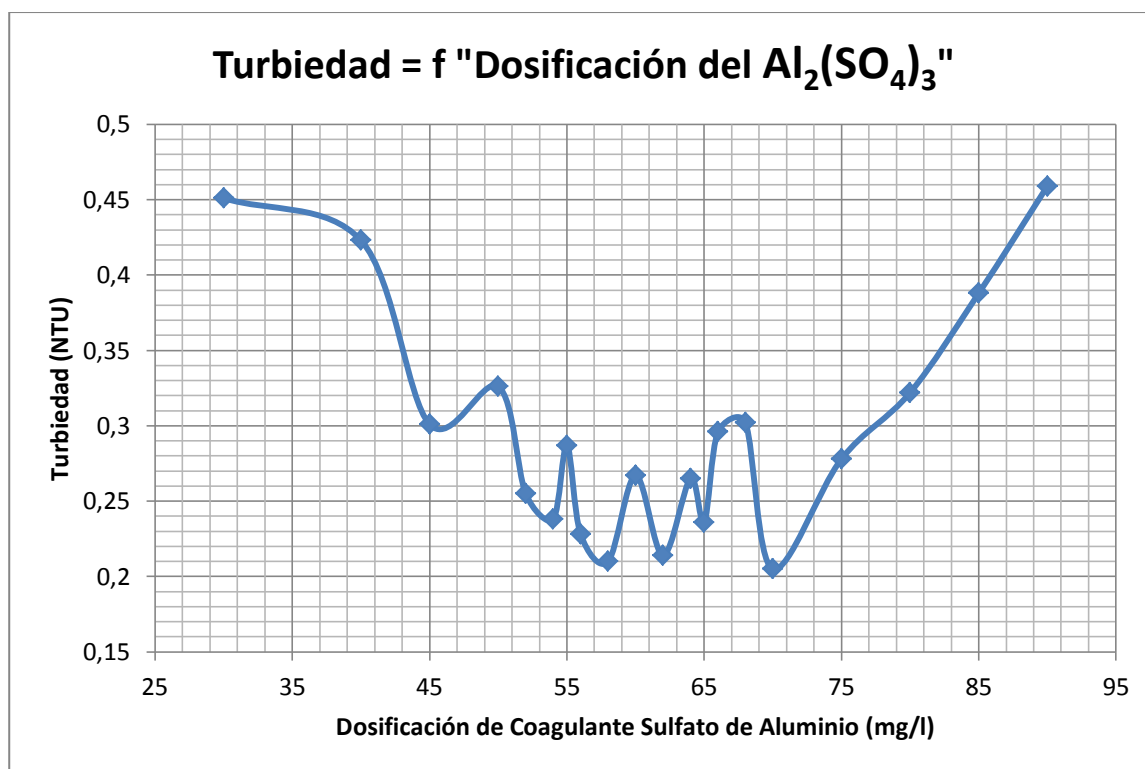


Gráfico 8. Turbiedad en función de la dosificación de Sulfato de Aluminio
[Muestra con SSo= 22 mg/l]

3.1.3 Relación de gradiente de velocidad. Mediante la relación de la intensidad de mezcla de los agitadores de la prueba de jarras y el gradiente de velocidad que se produce con dicha velocidad. Se calcula la intensidad de mezcla en rpm, en función de la expresión obtenida:

$$\text{RPM} = 3 * G^{0.8} \quad (21)$$

Con esta relación es posible determinar la intensidad de mezcla que genera un gradiente de velocidad específico.

Por ejemplo: considerando diferentes valores de G se tabulan los valores de la intensidad de mezcla. [40]

Tabla 78. Valores de relación entre G y rpm

Gradiente G (s ⁻¹)	rpm
0	0
5	10,9
10	18,9
15	26,2
20	33,0
25	39,4
30	45,6
35	51,6
40	57,4
45	63,1
50	68,6
55	74,0
60	79,4
65	84,6
70	89,8
75	94,9
80	99,9
85	94,9
90	109,8
95	114,6
100	119,4

Con estos valores se construye el siguiente gráfico:

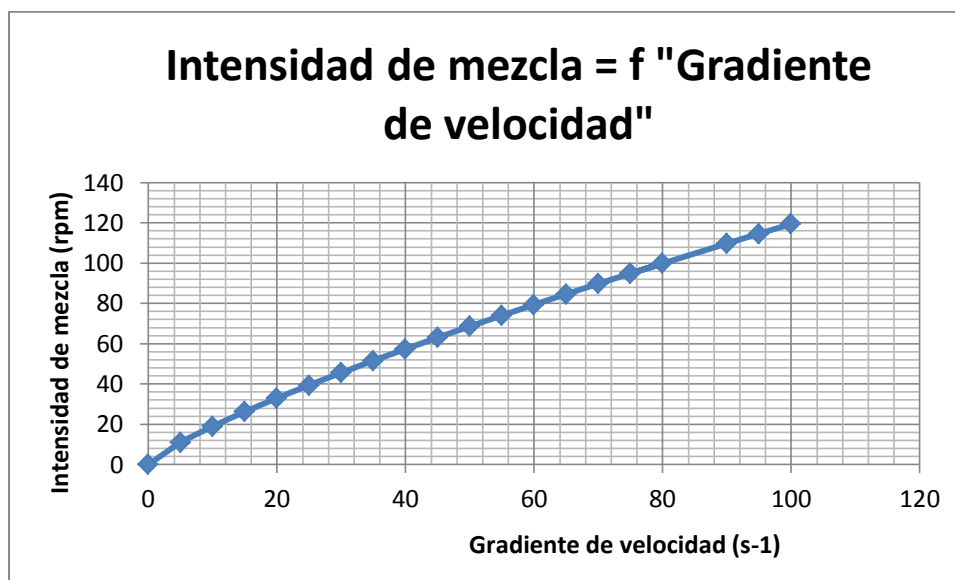


Gráfico 9. Intensidad de mezcla en función del gradiente de velocidad

3.1.4 Relación de gradiente de velocidad y tiempos óptimos de floculación. Esta relación permite explicar cómo varía el tiempo óptimo de floculación en función de las condiciones de trabajo.

De la experimentación realizada se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 79. Valores de turbiedad y SS en función de diferente tiempo de floculación
[Muestra SSo: (24 -26 mg/l)] para G = 26

Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)	Sólidos Suspendidos (mg/l)
17	6,64	24
23	5,24	19
30	0,388	5
37	0,406	5
43	0,400	6
50	0,390	6

Tabla 80. Valores de turbiedad y SS en función de diferente tiempo de floculación**[Muestra SSo: (24 -26 mg/l)] para G = 42**

Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)	Sólidos Suspendidos (mg/l)
17	7,68	25
23	5,94	21
30	0,425	7
37	0,455	7
43	0,448	6
50	0,436	5

Tabla 81. Valores de turbiedad y SS en función de diferente tiempo de floculación**[Muestra SSo: (22 -30 mg/l)] para G = 26**

Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)	Sólidos Suspendidos (mg/l)
17	9,46	17
23	5,85	14
30	0,783	10
37	0,780	9
43	0,769	9
50	0,752	8

Tabla 82. Valores de turbiedad y SS en función de diferente tiempo de floculación**[Muestra SSo: (22 -30 mg/l)] para G = 42**

Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)	Sólidos Suspendidos (mg/l)
17	9,97	21
23	7,21	18
30	0,798	12
37	0,790	12
43	0,783	12
50	0,766	11

Con esto valores se construyen los siguientes gráficos:

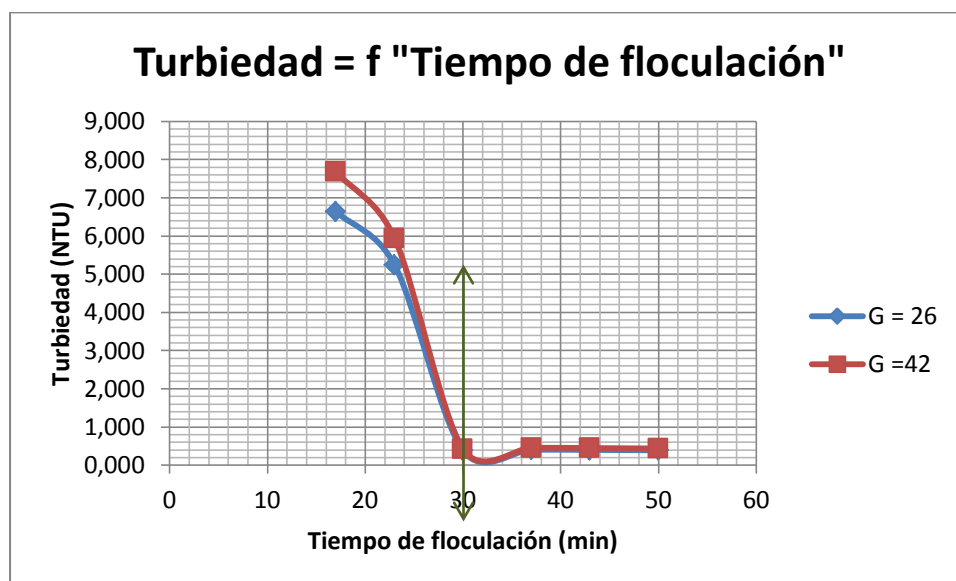


Gráfico 10. Turbiedad en función del tiempo de floculación [Muestra SSo: (24 -26 mg/l)]

Como se puede observar el tiempo óptimo para el proceso generado con estas gráficas es de aproximadamente 30 min que corresponde a la muestra No.2 cuyo agitador fue levantado a los 20 min. Por lo tanto, el tiempo de floculación es de **20 min** y el tiempo de sedimentación equivalente es de 10 min.

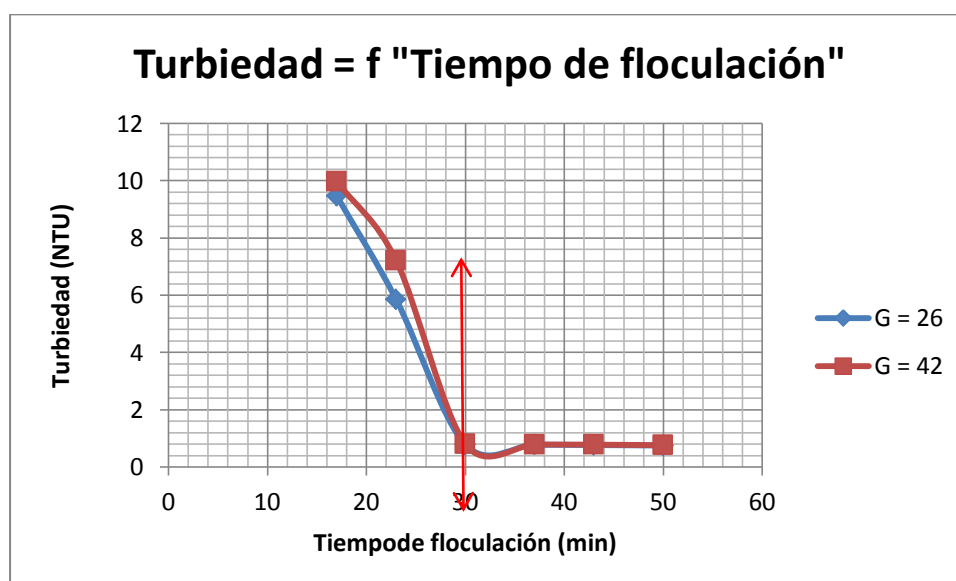


Gráfico 11. Tiempo óptimo de floculación [Muestra SSo: (22 -30 mg/l)]

Tabla 83. Valores de turbiedad y tiempo óptimos de floculación

Temporada	<i>[Muestra SSo: (24 -26 mg/l)]</i>			<i>[Muestra SSo: (22 -30 mg/l)]</i>		
Condiciones iniciales	Turbiedad = 12 NTU			Turbiedad = 15 NTU		
G (s ⁻¹)	Tiempo óptimo (min)	Turbiedad (NTU)	Sólidos Suspendidos (mg/l)	Tiempo óptimo (min)	Turbiedad (NTU)	Sólidos Suspendidos (mg/l)
26	20	0.338	5	20	0.783	10
42	20	0.425	7	20	0.798	12

3.1.5 Eficiencia del proceso de floculación. En función de los cuadro de valores de tiempos y turbiedad se puede determinar la eficiencia de remoción y la turbiedad remanente mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Eficiencia de remoción: } 1 - \frac{N_f}{N_o} \quad (22)$$

Dónde:

Nf = Turbiedad final

No = Turbiedad inicial

3.1.5.1 Cálculo de la eficiencia de remoción [Muestra SSo: (24 -26 mg/l)] {G = 26}

Calculo modelo

$$\text{Eficiencia de remoción: } 1 - \frac{0.338}{12} = 0.9718$$

$$\% \text{Remoción} = \mathbf{97.183\%}$$

3.1.5.2 Cálculo de la eficiencia de remoción [Muestra SSo: (24 -26 mg/l)] {G = 42}

$$\text{Eficiencia de remoción: } 1 - \frac{0.425}{12} = 0.9645$$

$$\% \text{Remoción} = \mathbf{96.45\%}$$

Tabla 84. Valores de turbiedad removida a diferentes gradientes de velocidad

Temporada	[Muestra SSo: (24 -26 mg/l)]		[Muestra SSo: (22 -30 mg/l)]	
Condiciones iniciales	Turbiedad removida		Turbiedad removida	
G (s ⁻¹)	Eficiencia de remoción	% Remoción	Eficiencia de remoción	% Remoción
26	0.9718	97.18	0.9645	96.45
42	0.9478	94.78	0.9468	94.68

3.1.6 Rediseño de la planta actual de tratamiento (Floculador). Con la ayuda de los datos de la tabla 79 y 81 se procede al cálculo del rediseño del clarificador.

Tabla 85. Sólidos Suspendedos en el clarificador

[Muestra SSo: (24 -26 mg/l)] || [Muestra SSo: (22 -30 mg/l)]

Tiempo de floculación (min)**	Sólidos Suspendedos (mg/l)	Tiempo de floculación (min)**	Sólidos Suspendedos (mg/l)
7	24	7	17
13	19	13	14
20	5	20	10
27	5	27	9
33	6	33	9
40	6	40	8

** Este dato no considera los 10 min de sedimentación establecidos en la experimentación según la Tabla 3.

3.1.6.1 Capacidad del tanque de floculación

Calculo modelo para Q = 210 [l/s]

$$V = Q * t \quad (23)$$

V = Volumen del floculador [m³]

Q = Caudal de tratamiento (210 [l/s] = 0.21 [m³/s])

t = Tiempo óptimo de floculación (20 [min] = 1200 [s])

$$V = 0.21 \text{ m}^3/\text{s} * 1200 \text{ s} = 252 \text{ m}^3$$

3.1.6.2 Longitud de los canales

$$L_1 = v_1 * t_1 \quad (24)$$

L_1 = Longitud de los canales [m]

v_1 = Velocidad de flujo (0.30 [m/s]) {Criterio de diseño de alta velocidad [0.30 -0.60 m/s]}

t_1 = Tiempo de detención (10 [min]) {El tiempo se divide para las 2 secciones}

$$L_1 = 0.30 \frac{m}{s} * 10 \text{ min} * \frac{60 s}{1 \text{ min}} = \mathbf{180 \text{ m}}$$

3.1.6.3 Sección del canal

$$A = Q/v_1 \quad (25)$$

A_1 = Sección del canal [m²]

Q = Caudal de tratamiento (0.21 [m³/s])

v_1 = Velocidad de flujo (0.30 [m/s])

$$A_1 = \frac{0.21 \frac{m^3}{s}}{0.30 \frac{m}{s}} = \mathbf{0.70 \text{ m}^2}$$

3.1.6.4 *Espaciamiento entre tabiques*

$$a_1 = \frac{A_1}{p} \quad (26)$$

a_1 = Espaciamiento entre tabiques [m]

p = profundidad (Para tabiques de asbesto-cemento se recomienda longitudes [1.8 * 18] {Basado en datos reales de la planta} con borde libre de 0.50m la profundidad de los canales será 1.3m)

A_1 = Sección del canal (0.70 [m²])

$$a_1 = \frac{0.70 \text{ m}^2}{1.3 \text{ m}} = 0.538 \text{ m}$$

3.1.6.5 *Espaciamientos entre la punta del tabique y la pared.* Tradicionalmente el espaciado entre el extremo del tabique y el muro se ha hecho igual a 1.5 veces la separación entre tabiques, pero tal regla no debe tomarse como absoluta

$$e_1 = 1.5 * a_1 \quad (27)$$

e_1 = Espaciamiento entre la punta del tabique y la pared [m]

a_1 = Espaciamiento entre tabiques (0.538 [m])

$$e_1 = 1.5 * 0.538 = 0.807 \text{ m}$$

3.1.6.6 *Ancho del tanque*

$$I_1 = 18 + e_1 \quad (28)$$

I_1 = Ancho del tanque [m]

e_1 = Espaciamiento entre la punta del tabique y la pared (0.807 [m])

$$I_1 = 18 + 0.807 = \mathbf{18.80 \text{ m}}$$

3.1.6.7 *Número de tabiques*

$$N_1 = \frac{L_1}{I_1} \quad (29)$$

N_1 = Número de tabiques

I_1 = Ancho del tanque (18.80 m)

L_1 = Longitud total del floculador (180m)

$$N_1 = \frac{180 \text{ m}}{18.80 \text{ m}} = \mathbf{9.57}$$

3.1.6.8 Longitud del floculador (tramo 1)

$$L_1^* = N_1 * a_1 \quad (30)$$

L_1^* = Longitud del floculador [m]

N_1 = Número de tabiques (10)

a_1 = Pérdida de carga por tabique (0.538 m)

$$L_1^* = 10 * 0.538 = 5.38 \text{ m}$$

3.1.6.9 Pérdida de carga por el cambio de dirección y turbulencia h_1

$$h_1 = kN \frac{v^2}{2g} \quad (31)$$

h_1 = Perdida de carga por el cambio de dirección y turbulencia [cm]

k = Constante empírica (recomendada 3.0)

N = Número de tabiques (10)

v = velocidad promedio de flujo (0.30 m/s)

g = Gravedad (9.8 m/s²)

$$h_1 = 3 * 10 * \frac{(0.30 \text{ m/s}^2)^2}{2 * 9.8 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 13.7 \text{ cm}$$

Tabla 86. Valores de diseño del floculador (Sección 1) Caudal [200 l/s]

Caudal	Tiempo de floculación	Sólidos Suspendidos [SSo = 26]	Sólidos Suspendidos [SSo = 30]	Volumen del floculador	Longitudes de los canales	Sección de canal	Espaciamiento entre tabiques	Espaciamiento entre la punta del tabique y la pared	Ancho del tanque	Numero de tabiques	Numero de tabiques Reales	Longitud del floculador	Pérdida de carga por el cambio de dirección y turbulencia h1
(l/s)*	(min)	(mg/l)	(mg/l)	m3	m	m2	m	m	m	#	#	m	cm
200	7	24	24	84,0	63	0,667	0,513	0,769	18,769	3,357	4,000	2,051	4,624
200	13	19	19	156,0	117	0,667	0,513	0,769	18,769	6,234	7,000	3,590	8,587
200	20	5	5	240,0	180	0,667	0,513	0,769	18,769	9,590	10,000	5,128	13,211
200	27	6	6	324,0	243	0,667	0,513	0,769	18,769	12,947	13,000	6,667	17,835
200	33	6	6	396,0	297	0,667	0,513	0,769	18,769	15,824	16,000	8,205	21,798
200	40	11	11	480,0	360	0,667	0,513	0,769	18,769	19,180	20,000	10,256	26,422

Tabla 87. Valores de diseño del floculador (Sección 2) Caudal [200 l/s]

Caudal	Tiempo de floculación	Sólidos Suspendidos [SSo = 26]	Sólidos Suspendidos [SSo = 30]	Volumen del floculador	Longitudes de los canales	Sección de canal	Espaciamiento entre tabiques	Espaciamiento entre la punta del tabique y la pared	Ancho del tanque	Numero de tabiques	Numero de tabiques Reales	Longitud del floculador	Pérdida de carga por el cambio de dirección y turbulencia h1
(l/s)*	(min)	(mg/l)	(mg/l)	m3	m	m2	m	m	m	#	#	m	cm
200	7	24	17	84,0	21	2,000	1,538	2,308	20,308	1,034	2,000	3,077	0,306
200	13	19	14	156,0	39	2,000	1,538	2,308	20,308	1,920	3,000	4,615	0,459
200	20	5	10	240,0	60	2,000	1,538	2,308	20,308	2,955	4,000	6,154	0,612
200	27	5	9	324,0	81	2,000	1,538	2,308	20,308	3,989	5,000	7,692	0,765
200	33	6	9	396,0	99	2,000	1,538	2,308	20,308	4,875	6,000	9,231	0,918
200	40	6	8	480,0	120	2,000	1,538	2,308	20,308	5,909	7,000	10,769	1,071

* Por motivo de análisis se asume valores de caudal de entrada

Tabla 88. Valores de diseño del floculador (Sección 1) Caudal [205 l/s]

Caudal	Tiempo de floculación	Sólidos Suspendidos [SSo = 26]	Sólidos Suspendidos [SSo = 30]	Volumen del floculador	Longitudes de los canales	Sección de canal	Espaciamiento entre tabiques	Espaciamiento entre la punta del tabique y la pared	Ancho del tanque	Numero de tabiques	Numero de tabiques Reales	Longitud del floculador	Pérdida de carga por el cambio de dirección y turbulencia h1
(l/s)*	(min)	(mg/l)	(mg/l)	m3	m	m2	m	m	m	#	#	m	cm
205	7	24	17	86,1	63	0,683	0,526	0,788	18,788	3,353	4,000	2,103	4,619
205	13	19	14	159,9	117	0,683	0,526	0,788	18,788	6,227	7,000	3,679	8,578
205	20	5	10	246,0	180	0,683	0,526	0,788	18,788	9,580	10,000	5,256	13,197
205	27	5	9	332,1	243	0,683	0,526	0,788	18,788	12,933	13,000	6,833	17,817
205	33	6	9	405,9	297	0,683	0,526	0,788	18,788	15,808	16,000	8,410	21,776
205	40	6	8	492,0	360	0,683	0,526	0,788	18,788	19,161	20,000	10,513	26,395

Tabla 89. Valores de diseño del floculador (Sección 2) Caudal [205 l/s]

Caudal	Tiempo de floculación	Sólidos Suspendidos [SSo = 26]	Sólidos Suspendidos [SSo = 30]	Volumen del floculador	Longitudes de los canales	Sección de canal	Espaciamiento entre tabiques	Espaciamiento entre la punta del tabique y la pared	Ancho del tanque	Numero de tabiques	Numero de tabiques Reales	Longitud del floculador	Pérdida de carga por el cambio de dirección y turbulencia h1
(l/s)*	(min)	(mg/l)	(mg/l)	m3	m	m2	m	m	m	#	#	m	cm
205	7	24	17	86,1	21	2,050	1,577	2,365	20,365	1,031	2,000	3,154	0,306
205	13	19	14	159,9	39	2,050	1,577	2,365	20,365	1,915	3,000	4,731	0,459
205	20	5	10	246,0	60	2,050	1,577	2,365	20,365	2,946	4,000	6,308	0,612
205	27	5	9	332,1	81	2,050	1,577	2,365	20,365	3,977	5,000	7,885	0,765
205	33	6	9	405,9	99	2,050	1,577	2,365	20,365	4,861	6,000	9,462	0,918
205	40	6	8	492,0	120	2,050	1,577	2,365	20,365	5,892	7,000	11,038	1,071

* Por motivo de análisis se asume valores de caudal de entrada

Tabla 90. Valores de diseño del floculador (Sección 1) Caudal [210 l/s]

Caudal	Tiempo de floculación	Sólidos Suspendidos [SSo = 26]	Sólidos Suspendidos [SSo = 30]	Volumen del floculador	Longitudes de los canales	Sección de canal	Espaciamiento entre tabiques	Espaciamiento entre la punta del tabique y la pared	Ancho del tanque	Numero de tabiques	Numero de tabiques Reales	Longitud del floculador	Pérdida de carga por el cambio de dirección y turbulencia h1
(l/s)*	(min)	(mg/l)	(mg/l)	m3	m	m2	m	m	m	#	#	m	cm
210	7	24	17	88,2	63	0,700	0,538	0,808	18,808	3,350	4,000	2,154	4,614
210	13	19	14	163,8	117	0,700	0,538	0,808	18,808	6,221	7,000	3,769	8,570
210	20	5	10	252,0	180	0,700	0,538	0,808	18,808	9,571	10,000	5,385	13,184
210	27	5	9	340,2	243	0,700	0,538	0,808	18,808	12,920	13,000	7,000	17,798
210	33	6	9	415,8	297	0,700	0,538	0,808	18,808	15,791	16,000	8,615	21,753
210	40	6	8	504,0	360	0,700	0,538	0,808	18,808	19,141	20,000	10,769	26,368

Tabla 91. Valores de diseño del floculador (Sección 2) Caudal [210 l/s]

Caudal	Tiempo de floculación	Sólidos Suspendidos [SSo = 26]	Sólidos Suspendidos [SSo = 30]	Volumen del floculador	Longitudes de los canales	Sección de canal	Espaciamiento entre tabiques	Espaciamiento entre la punta del tabique y la pared	Ancho del tanque	Numero de tabiques	Numero de tabiques Reales	Longitud del floculador	Pérdida de carga por el cambio de dirección y turbulencia h1
(l/s)*	(min)	(mg/l)	(mg/l)	m3	m	m2	m	m	m	#	#	m	cm
210	7	24	17	21	2,100	1,615	2,423	20,423	1,028	2,000	3,231	0,306	21
210	13	19	14	39	2,100	1,615	2,423	20,423	1,910	3,000	4,846	0,459	39
210	20	5	10	60	2,100	1,615	2,423	20,423	2,938	4,000	6,462	0,612	60
210	27	5	9	81	2,100	1,615	2,423	20,423	3,966	5,000	8,077	0,765	81
210	33	6	9	99	2,100	1,615	2,423	20,423	4,847	6,000	9,692	0,918	99
210	40	6	8	120	2,100	1,615	2,423	20,423	5,876	7,000	11,308	1,071	120

* Por motivo de análisis se asume valores de caudal de entrada

Tabla 92. Valores de diseño del floculador (Sección 1) Caudal [215 l/s]

Caudal	Tiempo de floculación	Sólidos Suspendidos [SSo = 26]	Sólidos Suspendidos [SSo = 30]	Volumen del floculador	Longitudes de los canales	Sección de canal	Espaciamiento entre tabiques	Espaciamiento entre la punta del tabique y la pared	Ancho del tanque	Numero de tabiques	Numero de tabiques Reales	Longitud del floculador	Pérdida de carga por el cambio de dirección y turbulencia h1
(l/s)*	(min)	(mg/l)	(mg/l)	m3	m	m2	m	m	m	#	#	m	cm
215	7	24	17	90,3	63	0,717	0,551	0,827	18,827	3,346	4,000	2,205	4,610
215	13	19	14	167,7	117	0,717	0,551	0,827	18,827	6,215	7,000	3,859	8,561
215	20	5	10	258,0	180	0,717	0,551	0,827	18,827	9,561	10,000	5,513	13,170
215	27	5	9	348,3	243	0,717	0,551	0,827	18,827	12,907	13,000	7,167	17,780
215	33	6	9	425,7	297	0,717	0,551	0,827	18,827	15,775	16,000	8,821	21,731
215	40	6	8	516,0	360	0,717	0,551	0,827	18,827	19,122	20,000	11,026	26,341

Tabla 93. Valores de diseño del floculador (Sección 2) Caudal [215 l/s]

Caudal	Tiempo de floculación	Sólidos Suspendidos [SSo = 26]	Sólidos Suspendidos [SSo = 30]	Volumen del floculador	Longitudes de los canales	Sección de canal	Espaciamiento entre tabiques	Espaciamiento entre la punta del tabique y la pared	Ancho del tanque	Numero de tabiques	Numero de tabiques Reales	Longitud del floculador	Pérdida de carga por el cambio de dirección y turbulencia h1
(l/s)*	(min)	(mg/l)	(mg/l)	m3	m	m2	m	m	m	#	#	m	cm
215	7	24	17	90,3	21	2,150	1,654	2,481	20,481	1,025	2,000	3,308	0,306
215	13	19	14	167,7	39	2,150	1,654	2,481	20,481	1,904	3,000	4,962	0,459
215	20	5	10	258,0	60	2,150	1,654	2,481	20,481	2,930	4,000	6,615	0,612
215	27	5	9	348,3	81	2,150	1,654	2,481	20,481	3,955	5,000	8,269	0,765
215	33	6	9	425,7	99	2,150	1,654	2,481	20,481	4,834	6,000	9,923	0,918
215	40	6	8	516,0	120	2,150	1,654	2,481	20,481	5,859	7,000	11,577	1,071

* Por motivo de análisis se asume valores de caudal de entrada

Tabla 94. Valores de diseño del floculador (Sección 1) Caudal [220 l/s]

Caudal	Tiempo de floculación	Sólidos Suspendidos [SSo = 26]	Sólidos Suspendidos [SSo = 30]	Volumen del floculador	Longitudes de los canales	Sección de canal	Espaciamiento entre tabiques	Espaciamiento entre la punta del tabique y la pared	Ancho del tanque	Numero de tabiques	Numero de tabiques Reales	Longitud del floculador	Pérdida de carga por el cambio de dirección y turbulencia h1
(l/s)*	(min)	(mg/l)	(mg/l)	m3	m	m2	m	m	m	#	#	m	cm
220	7	24	17	92,4	63	0,733	0,564	0,846	18,846	3,343	4,000	2,256	4,605
220	13	19	14	171,6	117	0,733	0,564	0,846	18,846	6,208	7,000	3,949	8,552
220	20	5	10	264,0	180	0,733	0,564	0,846	18,846	9,551	10,000	5,641	13,157
220	27	5	9	356,4	243	0,733	0,564	0,846	18,846	12,894	13,000	7,333	17,762
220	33	6	9	435,6	297	0,733	0,564	0,846	18,846	15,759	16,000	9,026	21,709
220	40	6	8	528,0	360	0,733	0,564	0,846	18,846	19,102	20,000	11,282	26,314

Tabla 95. Valores de diseño del floculador (Sección 2) Caudal [220 l/s]

Caudal	Tiempo de floculación	Sólidos Suspendidos [SSo = 26]	Sólidos Suspendidos [SSo = 30]	Volumen del floculador	Longitudes de los canales	Sección de canal	Espaciamiento entre tabiques	Espaciamiento entre la punta del tabique y la pared	Ancho del tanque	Numero de tabiques	Numero de tabiques Reales	Longitud del floculador	Pérdida de carga por el cambio de dirección y turbulencia h1
(l/s)*	(min)	(mg/l)	(mg/l)	m3	m	m2	m	m	m	#	#	m	cm
220	7	24	17	92,4	21	2,200	1,692	2,538	20,538	1,022	2,000	3,385	0,306
220	13	19	14	171,6	39	2,200	1,692	2,538	20,538	1,899	3,000	5,077	0,459
220	20	5	10	264,0	60	2,200	1,692	2,538	20,538	2,921	4,000	6,769	0,612
220	27	5	9	356,4	81	2,200	1,692	2,538	20,538	3,944	5,000	8,462	0,765
220	33	6	9	435,6	99	2,200	1,692	2,538	20,538	4,820	6,000	10,154	0,918
220	40	6	8	528,0	120	2,200	1,692	2,538	20,538	5,843	7,000	11,846	1,071

* Por motivo de análisis se asume valores de caudal de entrada

Tabla 96. Valores de diseño del floculador (Sección 1) Caudal [225 l/s]

Caudal	Tiempo de floculación	Sólidos Suspendidos [SSo = 26]	Sólidos Suspendidos [SSo = 30]	Volumen del floculador	Longitudes de los canales	Sección de canal	Espaciamiento entre tabiques	Espaciamiento entre la punta del tabique y la pared	Ancho del tanque	Numero de tabiques	Numero de tabiques Reales	Longitud del floculador	Pérdida de carga por el cambio de dirección y turbulencia h1
(l/s)*	(min)	(mg/l)	(mg/l)	m3	m	m2	m	m	m	#	#	m	cm
225	7	24	17	94,5	63	0,750	0,577	0,865	18,865	3,339	4,000	2,308	4,600
225	13	19	14	175,5	117	0,750	0,577	0,865	18,865	6,202	7,000	4,038	8,543
225	20	5	10	270,0	180	0,750	0,577	0,865	18,865	9,541	10,000	5,769	13,144
225	27	5	9	364,5	243	0,750	0,577	0,865	18,865	12,881	13,000	7,500	17,744
225	33	6	9	445,5	297	0,750	0,577	0,865	18,865	15,743	16,000	9,231	21,687
225	40	6	8	540,0	360	0,750	0,577	0,865	18,865	19,083	20,000	11,538	26,287

Tabla 97. Valores de diseño del floculador (Sección 2) Caudal [225 l/s]

Caudal	Tiempo de floculación	Sólidos Suspendidos [SSo = 26]	Sólidos Suspendidos [SSo = 30]	Volumen del floculador	Longitudes de los canales	Sección de canal	Espaciamiento entre tabiques	Espaciamiento entre la punta del tabique y la pared	Ancho del tabique	Numero de tabiques	Numero de tabiques Reales	Longitud del floculador	Pérdida de carga por el cambio de dirección y turbulencia h1
(l/s)*	(min)	(mg/l)	(mg/l)	m3	m	m2	m	m	m	#	#	m	cm
225	7	24	17	94,5	21	2,250	1,731	2,596	20,596	1,020	2,000	3,462	0,306
225	13	19	14	175,5	39	2,250	1,731	2,596	20,596	1,894	3,000	5,192	0,459
225	20	5	10	270,0	60	2,250	1,731	2,596	20,596	2,913	4,000	6,923	0,612
225	27	5	9	364,5	81	2,250	1,731	2,596	20,596	3,933	5,000	8,654	0,765
225	33	6	9	445,5	99	2,250	1,731	2,596	20,596	4,807	6,000	10,385	0,918
225	40	6	8	540,0	120	2,250	1,731	2,596	20,596	5,826	7,000	12,115	1,071

* Por motivo de análisis se asume valores de caudal de entrada

3.1.7 Proceso de Sedimentación.

3.1.7.1 Etapa 1. Con los datos de la tabla 72 y la ayuda de las ecuaciones 3 y 4 se realizó el cálculo del %SS separados.

3.1.7.1.1 Cálculo modelo para determinar el %SS separados

Para $t = 5\text{min}$ y 0.4m condiciones $\{26 \text{ SS}_0\}$

$$x = 19/26$$

o en %:

$$y = (19/26) \times 100$$

$$y = 73.07$$

Luego se calcula para cada muestra la fracción de sólidos separada:

$$1 - 0.7307$$

o en %:

$$z = 100 - 73.07$$

$$z = 26.9$$

Tabla 98. Resultados de %SS separados a Condiciones de $\{26 \text{ SS}_0\}$

Concentraciones de %SS separados a las profundidades indicadas (mg/l)								
Condiciones de $\{26 \text{ SS}_0\}$								
	0.4m (válvula 1)		0.8m (válvula 2)		1.2m (válvula 3)		1.6m (válvula 4)	
Tiempo (min)	y	% SS separados	y	% SS separados	y	% SS separados	y	% SS separados
5	73,077	26,923	80,769	19,231	88,462	11,538	92,308	7,692
10	61,538	38,462	73,077	26,923	80,769	19,231	84,615	15,385
20	46,154	53,846	57,692	42,308	69,231	30,769	73,077	26,923
30	34,615	65,385	46,154	53,846	57,692	42,308	65,385	34,615
40	26,923	73,077	34,615	65,385	53,846	46,154	57,692	42,308
50	15,385	84,615	26,923	73,077	50,000	50,000	53,846	46,154
60	11,538	88,462	23,077	76,923	42,308	57,692	46,154	53,846

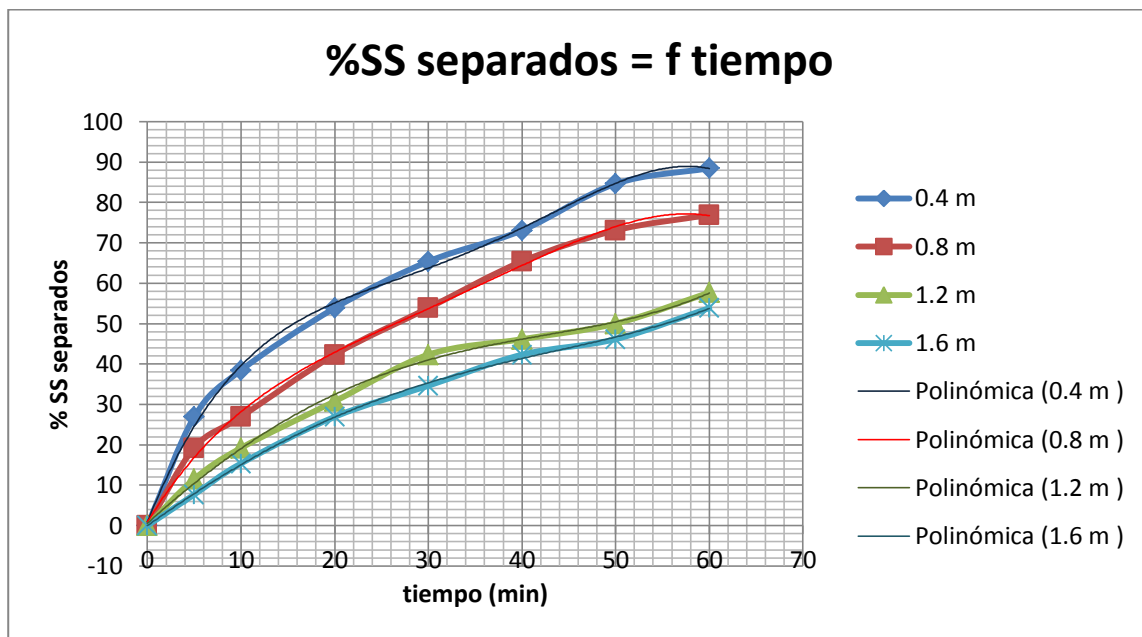


Gráfico 12. Sólidos en suspensión (%SS) separados, en función del tiempo.

[Condiciones de {26 SS₀}]

- **Polinómica (0.4):** $y = -3E-05x^4 + 0,0048x^3 - 0,2365x^2 + 5,7892x + 0,9424$

- **Polinómica (0.8):** $y = -2E-05x^4 + 0,0026x^3 - 0,1278x^2 + 3,7577x + 0,9573$

- **Polinómica (1.2):** $y = 3E-06x^4 - 0,0002x^3 - 0,0131x^2 + 1,6571x - 0,0238$

- **Polinómica (1.6):** $y = 5E-06x^4 - 0,0002x^3 - 0,0216x^2 + 2,082x + 0,6004$

Tabla 99. Resultados de %SS separados a Condiciones de {30 SS₀}

Concentraciones de %SS separados a las profundidades indicadas								
Condiciones de {30 SS ₀ }								
	0.4m (válvula 1)		0.8m (válvula 2)		1.2m (válvula 3)		1.6m (válvula 4)	
Tiempo (min)	y	% SS separados	y	% SS separados	y	% SS separados	y	% SS separados
5	80,000	28,124	83,333	16,667	90,000	10,000	93,333	6,667
10	73,333	26,667	73,333	26,667	80,000	20,000	86,667	13,333
20	63,333	54.698	56,667	43,333	70,000	30,000	73,333	26,667
30	56,667	65,789	46,667	53,333	60,000	40,000	66,667	33,333
40	50,000	73.558	36,667	63,333	53,333	46,667	56,667	43,333
50	46,667	84.578	26,667	73,333	46,667	53,333	53,333	46,667
60	40,000	86.389	23,333	76,667	40,000	60,000	46,667	53,333

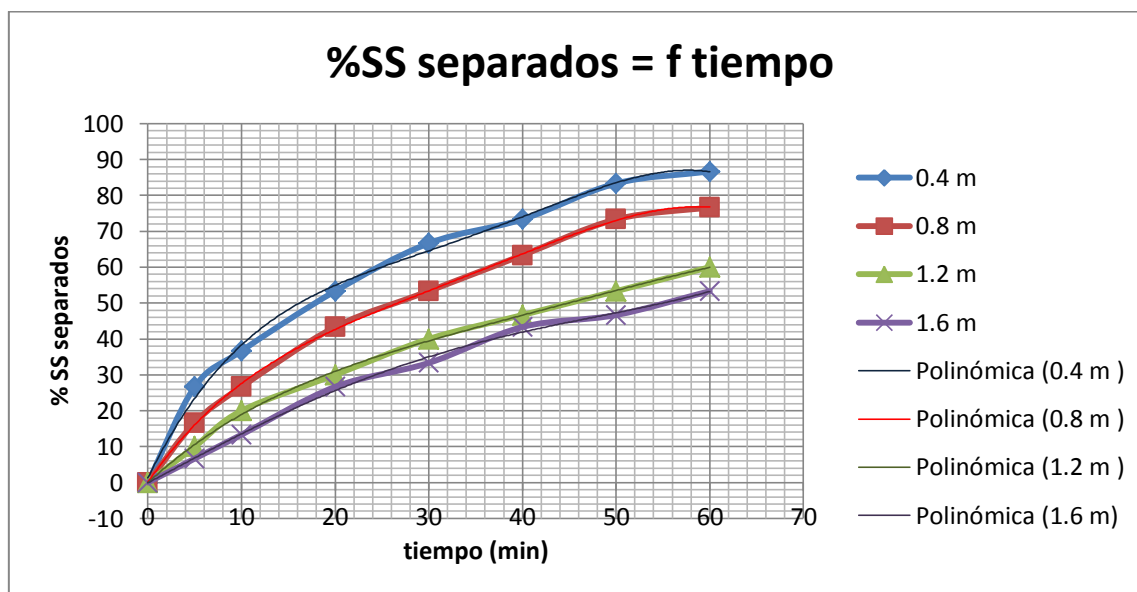


Gráfico 13. Sólidos en suspensión (%SS) separados, en función del tiempo.

[Condiciones de {30 SS₀}]

- **Polinómica (0.4):** $y = -3E-05x^4 + 0,0039x^3 - 0,1998x^2 + 5,3414x + 1,2724$

- **Polinómica (0.8):** $y = -2E-05x^4 + 0,0024x^3 - 0,1222x^2 + 3,7485x + 0,0927$

- **Polinómica (1.2):** $y = -5E-06x^4 + 0,0009x^3 - 0,0575x^2 + 2,3949x - 0,0643$

- **Polinómica (1.6):** $y = 4E-06x^4 - 0,0004x^3 + 0,0012x^2 + 1,3919x - 0,106$

3.1.7.2 Etapa 3. A partir del gráfico 12 se construye el gráfico 14 de sedimentación. Esto se puede conseguir leyendo en las curvas aproximadamente del gráfico 12 las abscisas (t, min) correspondientes a valores seleccionados de % de SS separado para cada uno de los puntos de muestreo o con la ayuda de la polinómica. Estos valores se recogen en la tabla 100 y son utilizados en la gráfica 14.

Tabla 100. Datos base para los gráficos 14 y 15

Tiempo (min)								
Condiciones de {26 SS ₀ }					Condiciones de {30 SS ₀ }			
% SS separados	0.4m (válvula 1)	0.8m (válvula 2)	1.2m (válvula 3)	1.6m (válvula 4)	0.4m (válvula 1)	0.8m (válvula 2)	1.2m (válvula 3)	1.6m (válvula 4)
5	0.9	1.4	2.3	3.8	1.8	1.8	2.6	4.0
10	1.8	2.2	4.0	6.2	2.0	2.8	5.0	7.8
20	3.7	4.6	10.4	13.6	3.8	8.2	10.0	14.6
30	5.9	11.0	19.0	23.8	6.0	11.8	20.0	24.0
40	10.9	18.4	27.2	36.0	12.0	17.8	30.0	36.0
50	17.0	26.2	50.0	55	18.0	26.0	45.0	54.0
60	24.8	35.0	---	---	24.0	36.2	60.0	---

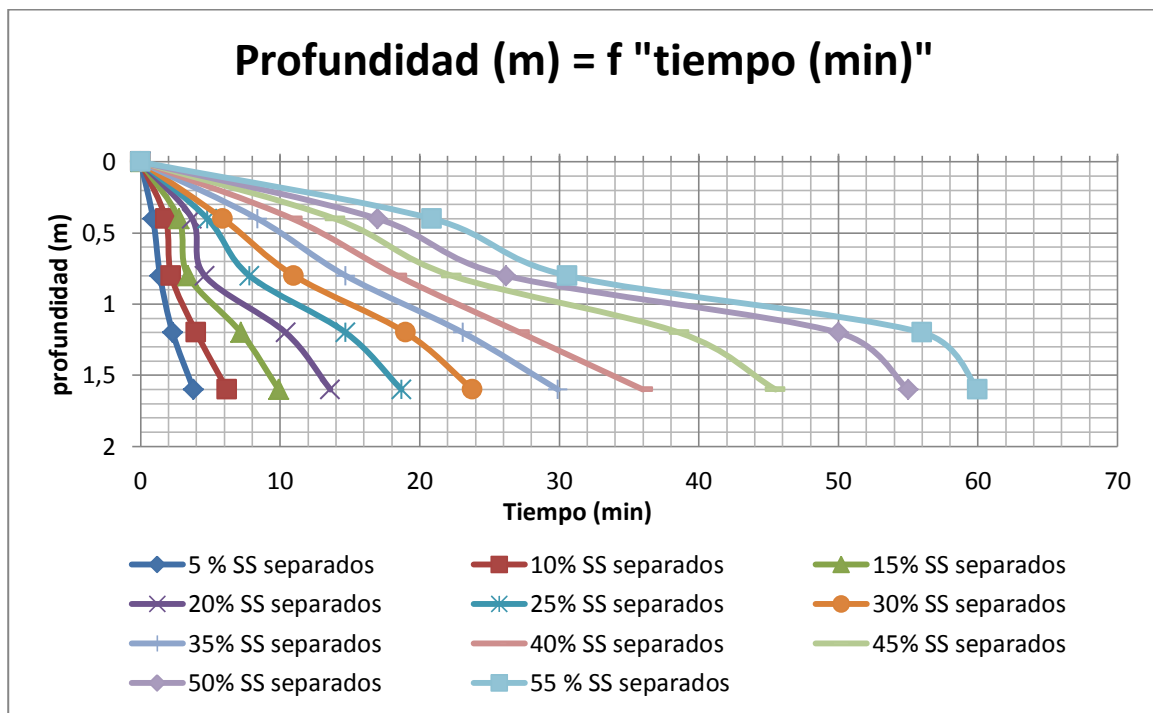


Gráfico 14. Gráfico de sedimentación. Los números de cada curva corresponden a los porcentajes de SS separados [Condiciones de {26 SS₀}]

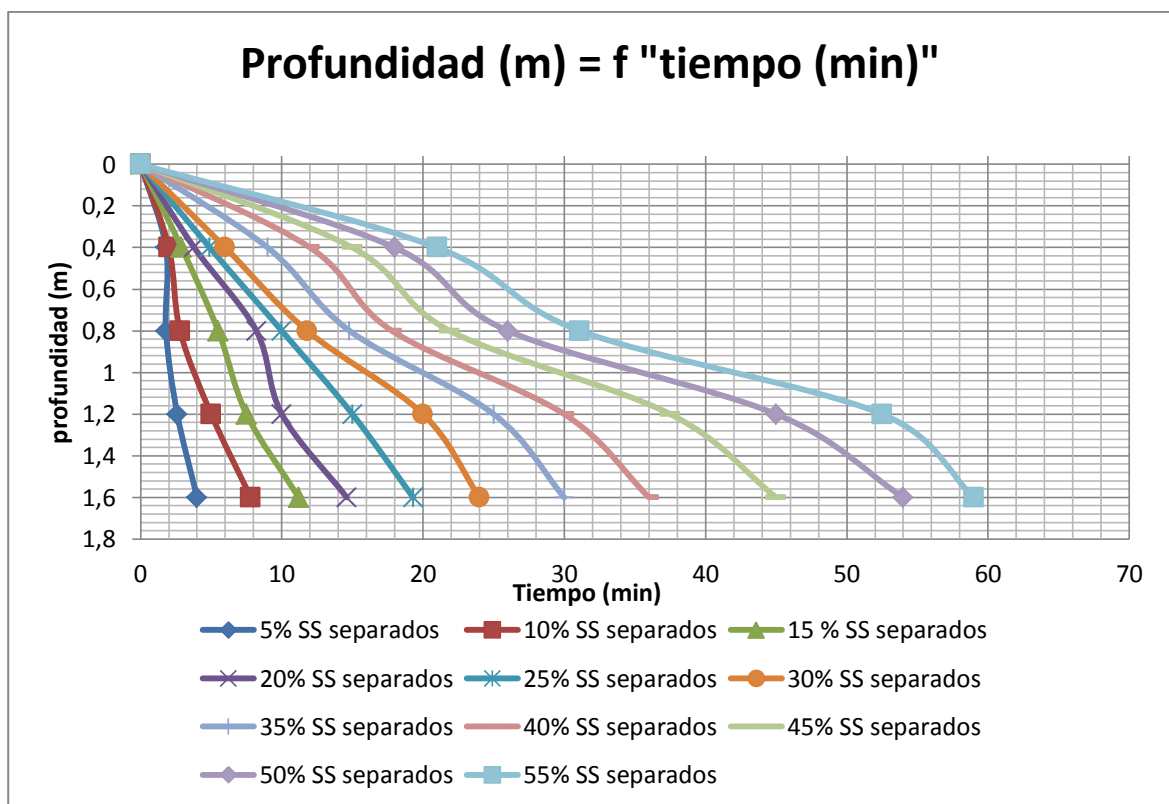


Gráfico 15. Gráfico de sedimentación. Los números de cada curva corresponden a los porcentajes de SS separados [Condiciones de {30 SS₀}]

3.1.7.3 Etapa 4. Se calcula los % SS separados y el factor de carga superficial ($\text{m}^3/\text{d}.\text{m}^2$); con la ayuda de las ecuaciones 5 a la 9 y la tabla 100

3.1.7.3.1 Cálculo de la velocidad de sedimentación, el %SS separados y el factor de carga. Los calculos para obtener el %SS separados y el factor de carga, para un tiempo de sedimentación de 6,2 min como cálculo modelo que corresponden al 10% de SS separados y a condiciones de $\text{SSo} = 26$; se realizan mediante la siguiente ecuación:

$$(h_1/H) * 10$$

Donde:

h_1 = Altura al intervalo seleccionado

H = Altura total hasta la valvula 4 (Ultima toma de muestra): 1,6 m

10 = intervalos de separación.

Los sólidos separados, expresados en % para $t = 6,2$ min serán:

100% separación del 10%. 10,00%

1^{er} intervalo (15%): $(1,12 / 1,6) = 7,00\%$

2^{do} intervalo (25%): $(0,64 / 1,6) = 4,00\%$

3^{er} intervalo (35%): $(0,30 / 1,6) = 1,88\%$

4^{to} intervalo (45%): $(0,17 / 1,6) = 1,06\%$

5^{to} intervalo (55%): $(0,12 / 1,6) = 0,75\%$

Total SS separados después de 6,2 min : **24.69%**

Tabla 101. Resultados de velocidad de sedimentación (H= 1.6 metros)

Velocidad de sedimentación							
Condiciones de {26 SS ₀ }				Condiciones de {30 SS ₀ }			
t, (min)	Velocidad de sedimentación (m/h) $V_s = 1.6/(t/60) = 96/t$	Factor de carga ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$) $V_s \times 24$	% SS separados	t, (min)	Velocidad de sedimentación (m/h) $V_s = 1.6/(t/60) = 96/t$	Factor de carga ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$) $V_s \times 24$	% SS separados
3.8	25,263	606,312	17,56	4.0	24,000	576,000	23,81
6.2	15,484	371,616	24,69	7.8	12,308	295,392	25,31
13.6	7,059	169,416	35,19	14.6	6,575	157,800	36,25
23.8	4,034	96,816	46,06	24.0	4,000	96,000	48,56
36.0	2,667	64,008	52,63	36.0	2,667	64,008	52,88
55.0	1,745	41,880	57,31	54.0	1,778	42,672	57,88

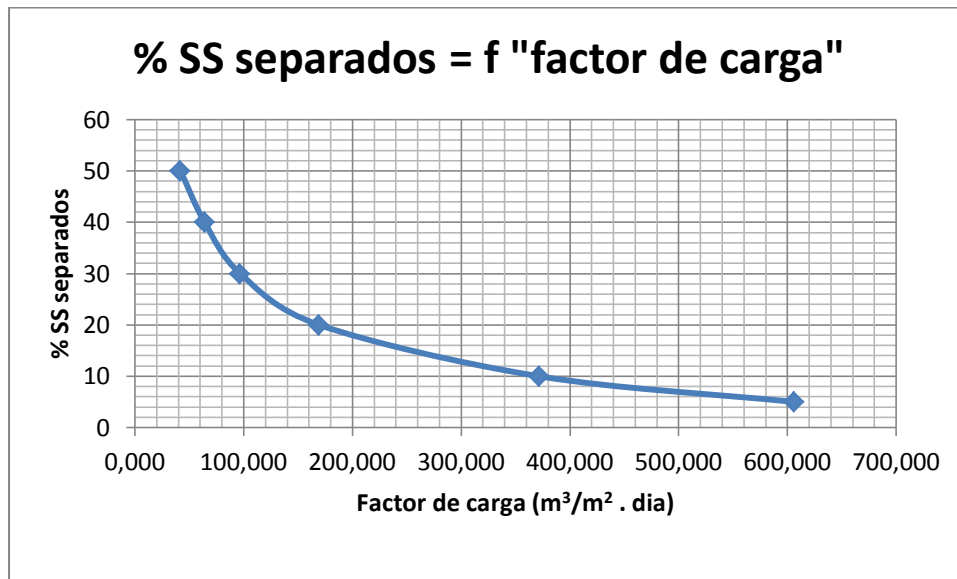


Gráfico 16. Separación de sólidos en suspensión (%SS), en función de la carga superficial
[Condiciones de {26 SS₀}]

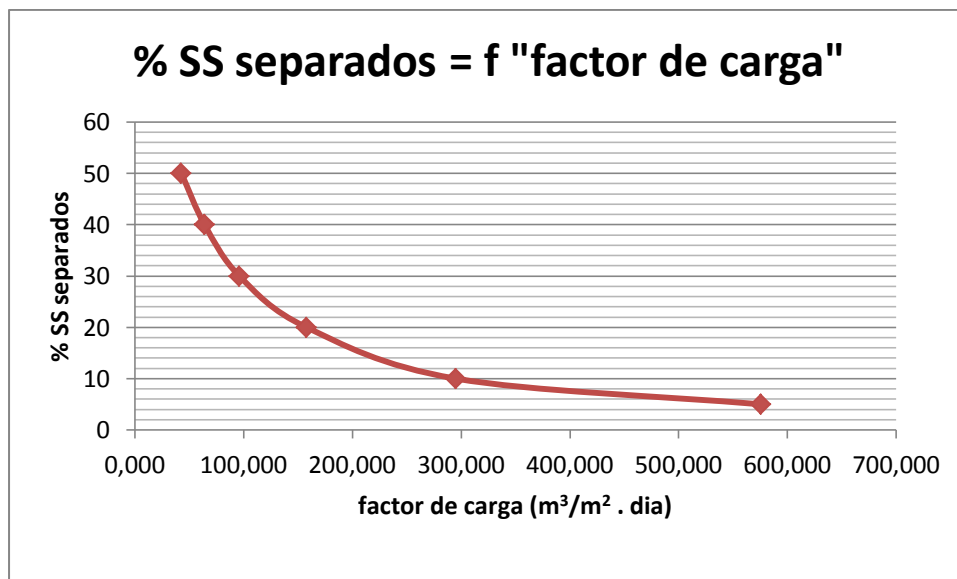


Gráfico 17. Separación de sólidos en suspensión (%SS), en función de la carga superficial
[Condiciones de {30 SS₀}]

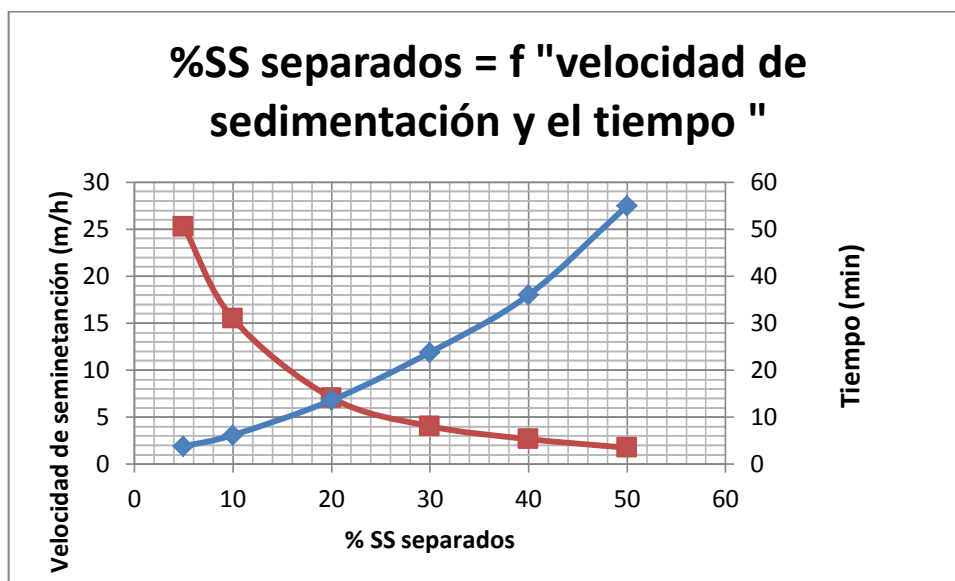


Gráfico 18. % SS separados en función de la velocidad de sedimentación y del tiempo
[Condiciones de {26 SS₀}]

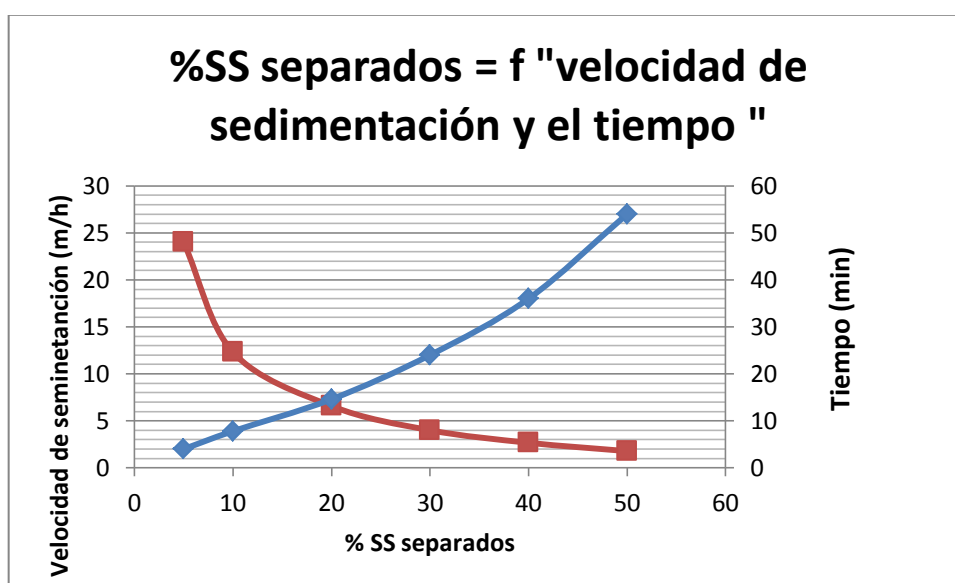


Gráfico 19. % SS separados en función de la velocidad de sedimentación y del tiempo
[Condiciones de {30 SS₀}]

3.1.8 Rediseño de la planta actual de tratamiento (Sedimentador). Para esto se parte de la siguiente tabla de datos.

Tabla 102. Sólidos Suspendedos en el sedimentador

[Muestra SSo: (24 -26 mg/l)]

||

[Muestra SSo: (22 -30 mg/l)]

Tiempo de sedimentación (min)	Sólidos Suspendedos (mg/l)	Tiempo de Sedimentación (min)	Sólidos Suspendedos (mg/l)
10	16	10	19
20	12	20	14
30	9	30	10
40	7	40	8
50	4	50	5
60	3	60	4

3.1.8.1 Capacidad del sedimentador

Calculo modelo para $Q = 210$ [l/s]

$$V = Q * t$$

V = Capacidad del sedimentador [m^3]

Q = Caudal de tratamiento (210 [l/s] = 0.21 [m^3/s])

t = Tiempo de residencia en el sedimentador (20 [min] = 1200 [s])

$$V = 0.21 \text{ m}^3/\text{s} * 1220 \text{ s} = \mathbf{252 \text{ [m}^3\text{]}}$$

3.1.8.2 Longitud del sedimentador

$$L = \frac{V}{H * a} \quad (32)$$

L = Longitud total del sedimentador [m]

V = Capacidad del sedimentador (302.4 [m^3])

a = Ancho del sedimentador (6 [m]). Dimensión escogida de acuerdo con la capacidad del sedimentador.

H = Altura útil del agua (5 [m]).]. Dimensión escogida de acuerdo con la capacidad del sedimentador.

$$L = \frac{252}{5 * 6} = 8.4 \text{ m}$$

Tabla 103. Valores de diseño, calculados para el sedimentador

[Muestra SSo: (24 -26 mg/l)]

Caudal	Tiempo de sedimentación	Volumen de sedimentación	Longitud del sedimentador
(l/s)*	(min)	m3	(m)
205	10	123,0	4,1
210	20	252,0	8,4
215	30	387,0	12,9
220	40	528,0	17,6
225	50	675,0	22,5
230	60	828,0	27,6

* Por motivo de análisis se asume valores de caudal de entrada

Tabla 104. Valores de diseño, calculados para el sedimentador

[Muestra SSo: (22 -30 mg/l)]

Caudal	Tiempo de sedimentación	Volumen de sedimentación	Longitud del sedimentador
(l/s)	(min)	m3	(m)
205	10	123,0	4,1
210	20	252,0	8,4
215	30	387,0	12,9
220	40	528,0	17,6
225	50	675,0	22,5
230	60	828,0	27,6

* Por motivo de análisis se asume valores de caudal de entrada

3.1.9 Análisis de los resultados. Con los datos de las tablas 103 y 104, los gráficos 12 y 13 y manteniendo el volumen constante se realizó el análisis de los resultados en función del % de Sólidos Suspendidos.

Dando como resultado la siguiente tabla:

Tabla 105. Valores de diseño, calculados para el sedimentador a volumen constante

[Muestra SSo: (24 -26 mg/l)]

V₁ = 123,0			V₂ = 252,0			V₃ = 387,0		
Caudal	Tiempo de sedimentación	% Sólidos Suspendidos separados	Caudal	Tiempo de sedimentación	% Sólidos Suspendidos separados	Caudal	Tiempo de sedimentación	% Sólidos Suspendidos separados
(l/s)	(min) V/Q		(l/s)	(min) V/Q		(l/s)	(min) V/Q	
205	10,000	39,684	205	20,488	56,273	205	31,463	69,074
210	9,762	39,112	210	20,000	55,726	210	30,714	68,028
215	9,535	38,554	215	19,535	55,197	215	30,000	67,068
220	9,318	38,010	220	19,091	54,681	220	29,318	66,184
225	9,111	37,480	225	18,667	54,179	225	28,667	65,366
230	8,913	36,963	230	18,261	53,688	230	28,043	64,606

V₄ = 528,0			V₅ = 675,0			V₆ = 828,0		
Caudal	Tiempo de sedimentación	% Sólidos Suspendidos separados	Caudal	Tiempo de floculación	% Sólidos Suspendidos separados	Caudal	Tiempo de floculación	% Sólidos Suspendidos separados
(l/s)	(min) V/Q		(l/s)	(min) V/Q		(l/s)	(min) V/Q	
205	42,927	79,009	205	54,878	84,403	205	67,317	90,560
210	41,905	76,478	210	53,571	84,062	210	65,714	89,329
215	40,930	74,164	215	52,326	83,498	215	64,186	88,317
220	40,000	72,046	220	51,136	82,922	220	62,727	86,712
225	39,111	70,105	225	50,000	82,341	225	61,333	86,410
230	38,261	68,324	230	48,913	81,083	230	60,000	85,979

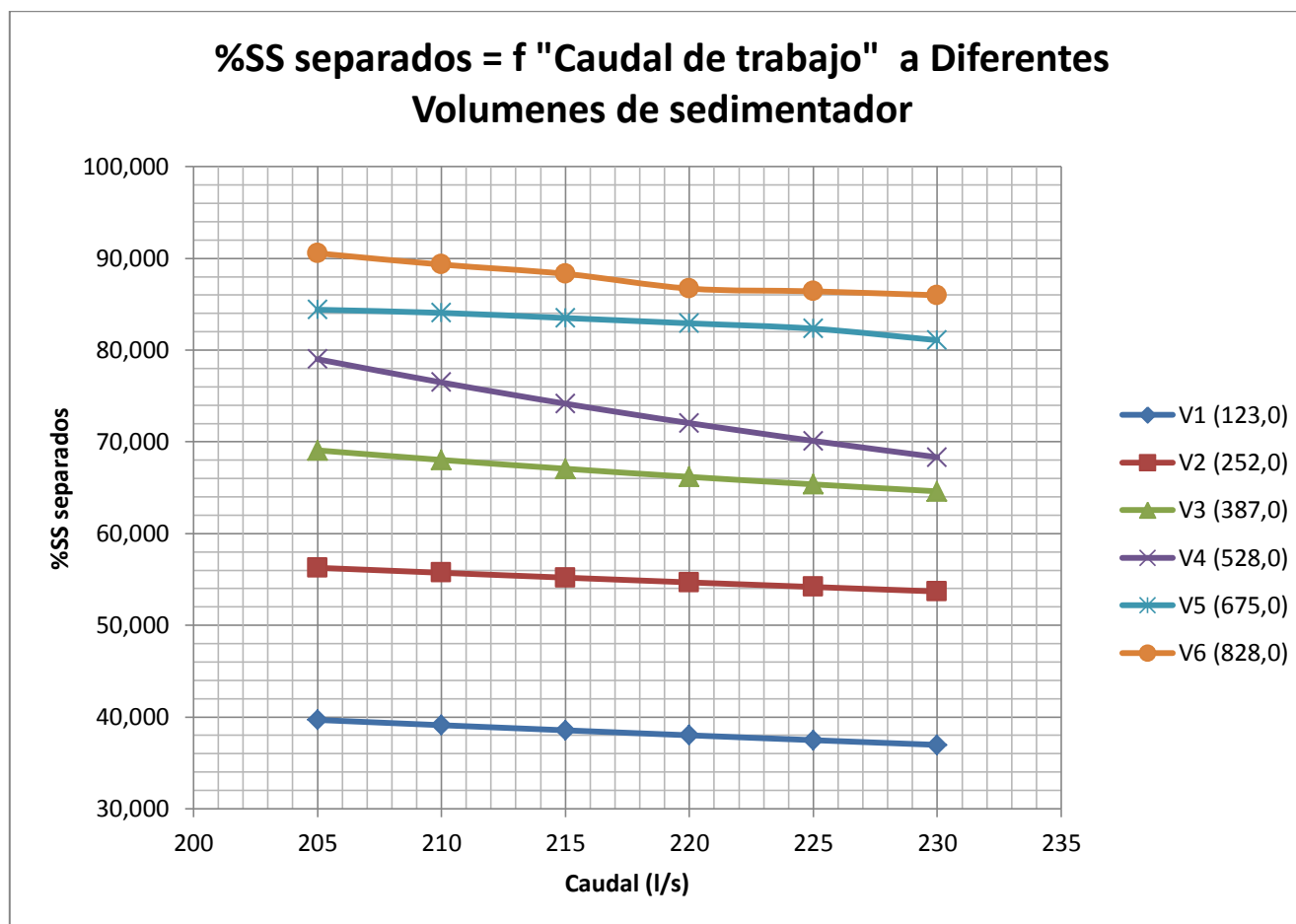


Gráfico 20. % SS separados en función del caudal a volumen variable de sedimentador
[Muestra SSo: (24 -26 mg/l)]

Tabla 106. Valores de diseño, calculados para el sedimentador

[Muestra SSo: (22 -30 mg/l)]

V₁ = 123,0			V₂ = 252,0			V₃ = 387,0		
Caudal	Tiempo de floculación	% Sólidos Suspendidos separados	Caudal	Tiempo de floculación	% Sólidos Suspendidos separados	Caudal	Tiempo de floculación	% Sólidos Suspendidos separados
(l/s)	(min) V/Q		(l/s)	(min) V/Q		(l/s)	(min) V/Q	
205	10,000	38,306	205	20,488	55,093	205	31,463	63,614
210	9,762	37,730	210	20,000	54,580	210	30,714	63,149
215	9,535	37,170	215	19,535	54,075	215	30,000	62,694
220	9,318	36,625	220	19,091	53,576	220	29,318	62,251
225	9,111	36,096	225	18,667	53,084	225	28,667	61,817
230	8,913	35,580	230	18,261	52,598	230	28,043	61,392

V₄ = 528,0			V₅ = 675,0			V₆ = 828,0		
Caudal	Tiempo de floculación	% Sólidos Suspendidos separados	Caudal	Tiempo de floculación	% Sólidos Suspendidos separados	Caudal	Tiempo de floculación	% Sólidos Suspendidos separados
(l/s)	(min) V/Q		(l/s)	(min) V/Q		(l/s)	(min) V/Q	
205	42,927	73,863	205	54,878	85,054	205	67,317	89,984
210	41,905	73,573	210	53,571	84,883	210	65,714	88,860
215	40,930	73,246	215	52,326	84,525	215	64,186	88,027
220	40,000	72,894	220	51,136	83,970	220	62,727	87,676
225	39,111	72,526	225	50,000	83,270	225	61,333	86,969
230	38,261	72,148	230	48,913	81,915	230	60,000	86,015

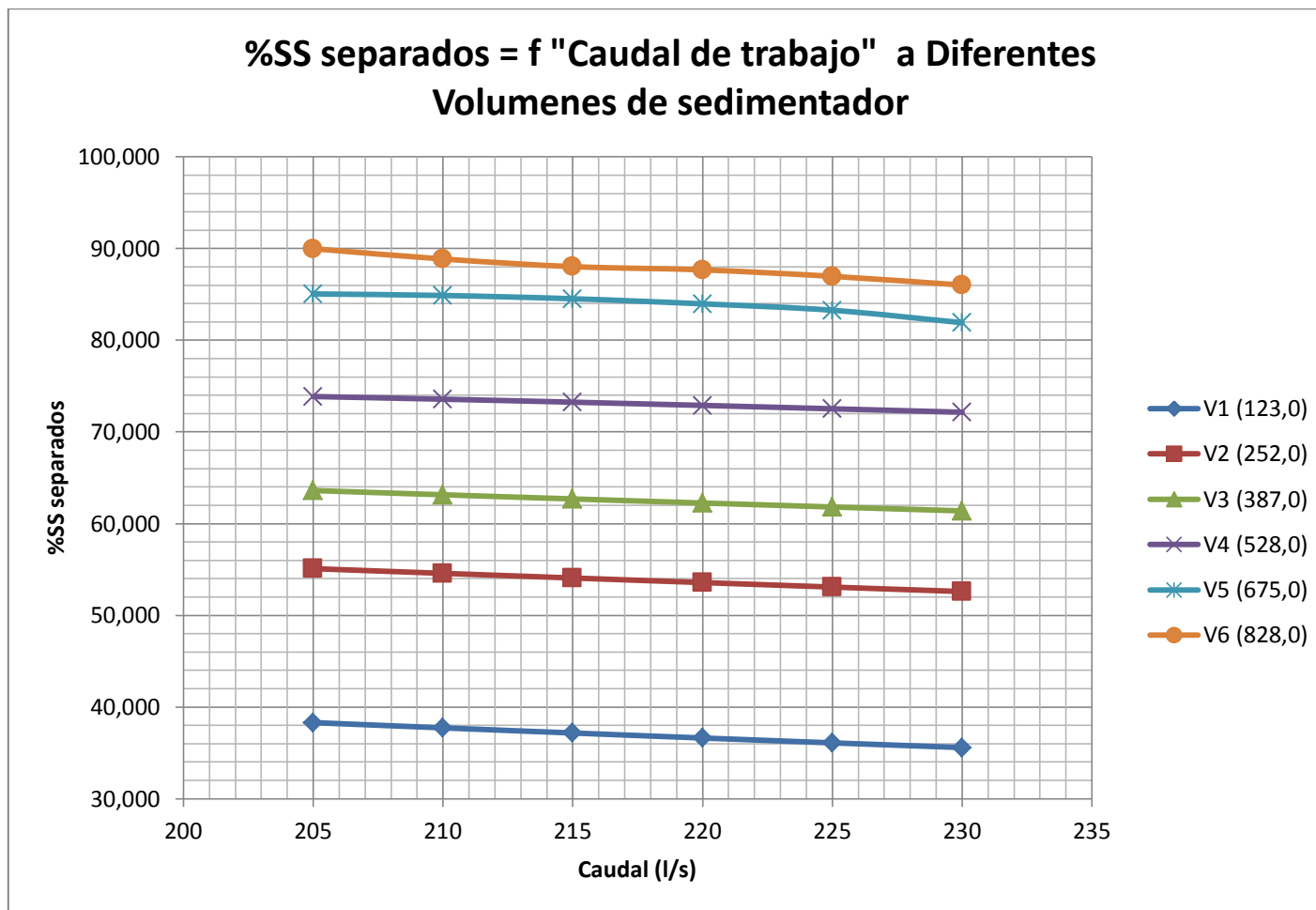


Gráfico 21. % SS separados en función del caudal a volumen variable de sedimentador
[Muestra SSo: (22 -30 mg/l)]

3.1.10 Filtración. La evaluación de la etapa de filtración está dada con el análisis de la velocidad de filtración, la carrera de filtración, la eficiencia del filtro y la calidad del agua filtrada.

3.1.10.1 Velocidad de filtración

Tabla 107. Datos obtenidos de la operación de los filtros

OPERACIÓN DE FILTROS					
OPERACIÓN		Diciembre	Enero	Febrero	
Nº1	Volumen filtrado	581.438	581.093	523.912	m ³
Nº2	Número de filtros en funcionamiento	6	6	6	unidades
Nº3	Número de filtros lavados	93	93	84	unidades
Nº4	Tiempo total de operación	4.402	4.367	3.998	horas
Nº5	Volumen total de agua de lavado	6.477	6.540	5.880	m ³
Nº6	Promedio de gasto en cada lavado	69.6	70,32	70,00	m ³
Nº7	Carrera promedio de trabajo de cada filtro antes de ser retrolavado [Nº4/Nº3]	47.33	46,96	47,60	horas
Nº8	Área por filtro	12,0	12,0	12,0	m ²
Velocidad de filtración (operación) [Nº1/(Nº4/24)* Nº8]		264.0	266,1	262,1	m ³ /m ² /d
Tasa promedio de filtración.		3.06	3,08	3,03	l/s/m ²
CAUDAL PROMEDIO DE TRATAMIENTO [Nº1/días operados]		217,1	217,0	216,6	l/s
TIEMPO DE PARALIZACIÓN DE LA PLANTA		0.00	0.00	0.00	horas

Con un breve análisis de los resultados se puede ver que los filtros cumplen con la velocidad de filtración para diseño, la cual está en un rango de [240-360] m³/m².dia

3.1.10.2 Carrera de filtración. En el caso de la Planta de Conocoto, el proceso se realiza de forma visual, no existe manómetros que registren la pérdida de carga en el filtro; por esta razón el lavado de cada filtro se lo realiza en un periodo de tiempo preestablecido (cada 48 horas aproximadamente) criterio que fue establecido con la ayuda de una serie de pruebas de turbiedad en función del tiempo.

Adicional a esto y cuando los valores de turbiedad del agua cruda son altos, provocando que el filtro se compacte en un menor tiempo, el índice que indica el lavado del filtro es la subida del nivel de agua aproximadamente de 1 metro.

3.1.10.3 Eficiencia de los filtros. Uno de los factores de mayor influencia en la eficiencia de los filtros es precisamente el lavado de los mismos y para su análisis es importante determinar la velocidad, caudal y tiempo óptimo de lavado.

- **Velocidad y caudal de lavado.** Los cálculos se realizan con ayuda de los datos de la tabla 107.

Calculo modelo para el mes de diciembre

$$Q = V/t$$

$$Q = \frac{6477 \text{ m}^3}{12,4 \text{ horas}} = 522,331 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q = v * A$$

$$v = Q / A$$

$$v = \frac{522,33 \text{ m}^3/\text{h}}{12 \text{ m}^2} = 43,528 \text{ m} / \text{h}$$

$$v = 1,209 \text{ cm/s}$$

Tabla 108. Velocidad y caudal de lavado registrado para varios meses

OPERACIÓN DE FILTROS					
		Diciembre	Enero	Febrero	
Nº1	Número de filtros en funcionamiento	6	6	6	unidades
Nº2	Número de filtros lavados	93	93	84	unidades
Nº3	Volumen total de agua de lavado	6.477	6.540	5.880	m ³
Nº4	Promedio de gasto en cada lavado	69,6	70,32	70,00	m ³
Nº5	Carrera promedio total de lavado [8min* Nº2]	12,4	12,4	11,2	horas
Nº6	Área por filtro	12,0	12,0	12,0	m ²
Nº7	Velocidad de lavado promedio	1,209	1,221	1,215	cm/s
Nº8	Caudal de lavado promedio	522,331	527,419	525,000	m ³ /h

- **Tiempo óptimo de lavado.** El propósito de este ensayo es determinar el tiempo que necesita un lecho filtrante para obtener una concentración de sólidos suspendidos menores a 335mg/l.

Para esto se realizó una serie de toma de muestras en el retrolavado de cada filtro cada 2 min a partir del inicio del proceso; completando un tiempo de lavado total de 8min. Se determina el punto de inflexión donde la curva tiende a ser asintótica respecto al eje de las abscisas. Este punto corresponderá al tiempo de lavado óptimo.

Tabla 109. Datos de retrolavado [FILTRO 1]

DURACIÓN DE RETROLAVADO FILTRO 1 (lavado a las 48 horas)					
TIEMPO (min)	Inicial	2	4	6	Final (8)
PARÁMETROS DE MEDIDA					
pH	7.69	7.72	7.70	7.65	7.61
Conductividad (uS/cm)	180.0	181.3	180.2	179.7	179.1
Color (UC Pt-Co)	305	109	98	45	29
Turbiedad (NTU)	721	150	110	43	20
Sólidos Suspendidos (mg/l)	947	426	222	78	61
Aluminio residual (mg/l)	9.82	8.71	7.16	5.87	5.58

Tabla 110. Datos de retrolavado [FILTRO 2]

DURACIÓN DE RETROLAVADO FILTRO 2 (lavado a las 48 horas)					
TIEMPO (min)	Inicial	2	4	6	Final (8)
PARÁMETROS DE MEDIDA					
pH	7.61	7.79	7.70	7.68	7.63
Conductividad (uS/cm)	193.1	187.3	186.1	185.7	185.1
Color (UC Pt-Co)	310	105	90	37	24
Turbiedad (NTU)	725	146	103	38	20
Sólidos Suspendidos (mg/l)	951	528	219	72	56
Aluminio residual (mg/l)	9.55	8.41	6.93	5.71	5.36

Tabla 111. Datos de retrolavado [FILTRO 3]

DURACIÓN DE RETROLAVADO FILTRO 3 (lavado a las 48 horas)					
TIEMPO (min)	Inicial	2	4	6	Final (8)
PARÁMETROS DE MEDIDA					
pH	7.78	7.81	7.83	7.80	7.79
Conductividad (uS/cm)	191.2	190.1	189.7	189.0	188.5
Color (UC Pt-Co)	298	105	95	44	28
Turbiedad (NTU)	711	247	108	41	19
Sólidos Suspendidos (mg/l)	935	425	222	78	60
Aluminio residual (mg/l)	9.20	7.23	6.56	5.25	5.02

Tabla 112. Datos de retrolavado [FILTRO 4]

DURACIÓN DE RETROLAVADO FILTRO 4 (lavado a las 48 horas)					
TIEMPO (min)	Inicial	2	4	6	Final (8)
PARÁMETROS DE MEDIDA					
pH	7.82	7.77	7.81	7.79	7.75
Conductividad (uS/cm)	199.6	198.2	198.5	197.3	197.3
Color (UC Pt-Co)	308	108	97	44	29
Turbiedad (NTU)	723	185	115	40	19
Sólidos Suspendidos (mg/l)	968	439	226	49	60
Aluminio residual (mg/l)	9.01	8.44	7.23	5.63	5.20

Tabla 113. Datos de retrolavado [FILTRO 5]

DURACIÓN DE RETROLAVADO FILTRO 5 (lavado a las 48 horas)					
TIEMPO (min)	Inicial	2	4	6	Final (8)
PARÁMETROS DE MEDIDA					
pH	7.62	7.60	7.58	7.61	7.60
Conductividad (uS/cm)	182.3	180.2	179.4	177.2	176.6
Color (UC Pt-Co)	304	106	96	44	28
Turbiedad (NTU)	718	148	109	41	19
Sólidos Suspendidos (mg/l)	944	328	223	77	59
Aluminio residual (mg/l)	10.44	9.08	7.25	5.77	5.62

Tabla 114. Datos de retrolavado [FILTRO 6]

DURACIÓN DE RETROLAVADO FILTRO 6 (lavado a las 48 horas)					
TIEMPO (min)	Inicial	2	4	6	Final (8)
PARÁMETROS DE MEDIDA					
pH	7.41	7.53	7.61	7.55	7.66
Conductividad (uS/cm)	191.7	190.3	189.2	188.5	187.3
Color (UC Pt-Co)	313	110	97	54	30
Turbiedad (NTU)	780	261	118	76	20
Sólidos Suspendidos (mg/l)	1032	468	244	84	65
Aluminio residual (mg/l)	13.84	8.44	5.44	5.28	5.02

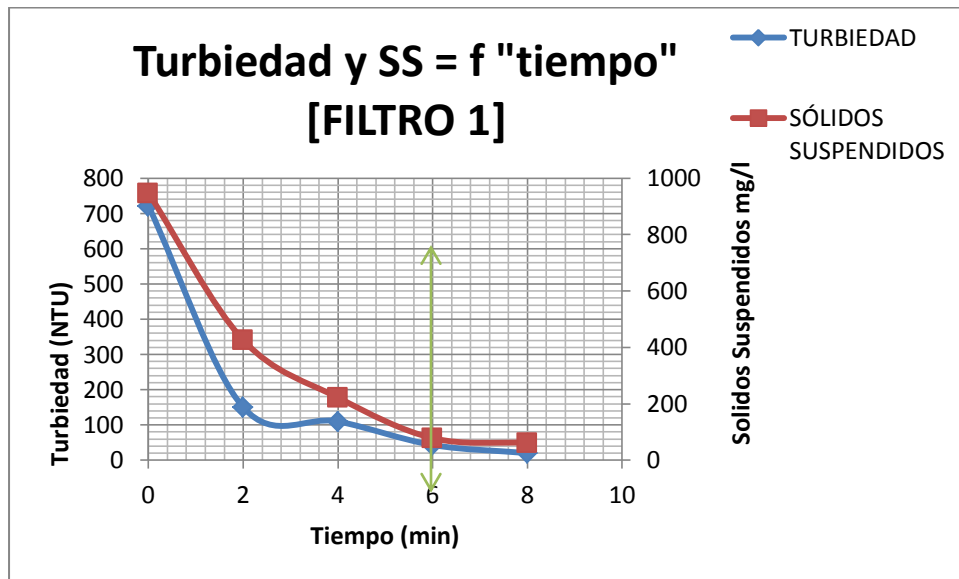


Gráfico 22. Turbiedad y Sólidos Suspendedos en función del tiempo [FILTRO 1]

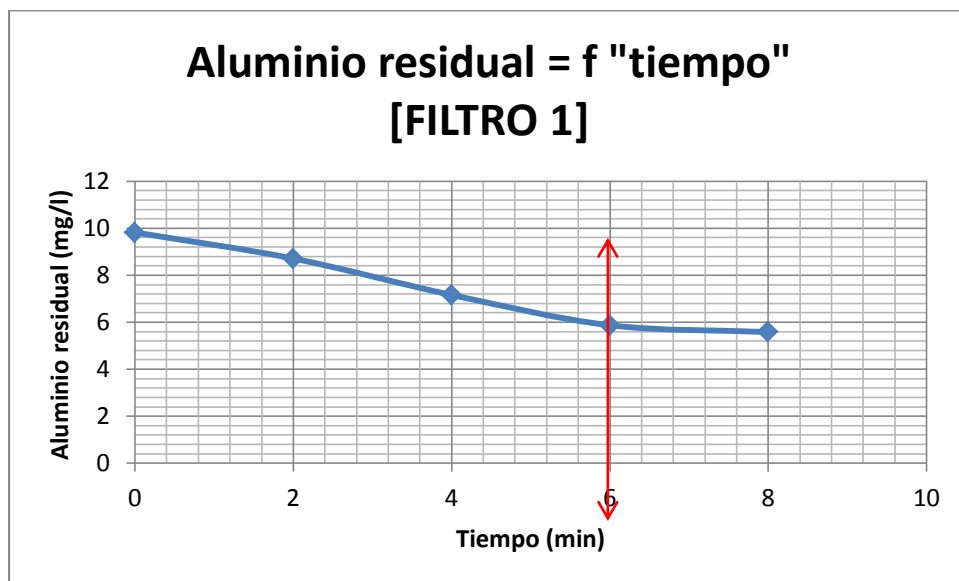


Gráfico 23. Aluminio Residual en función del tiempo [FILTRO 1]

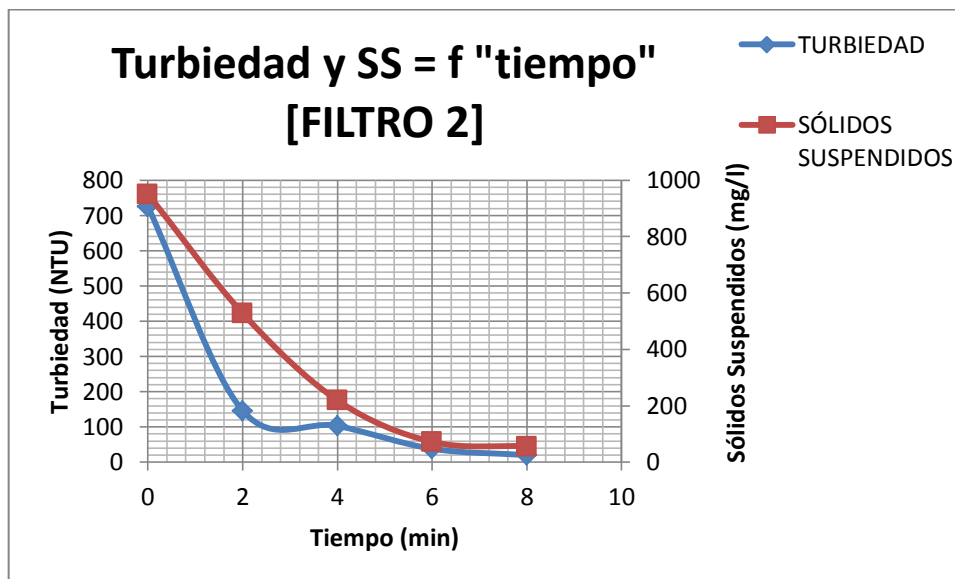


Gráfico 24. Turbiedad y Sólidos Suspendedos en función del tiempo [FILTRO 2]

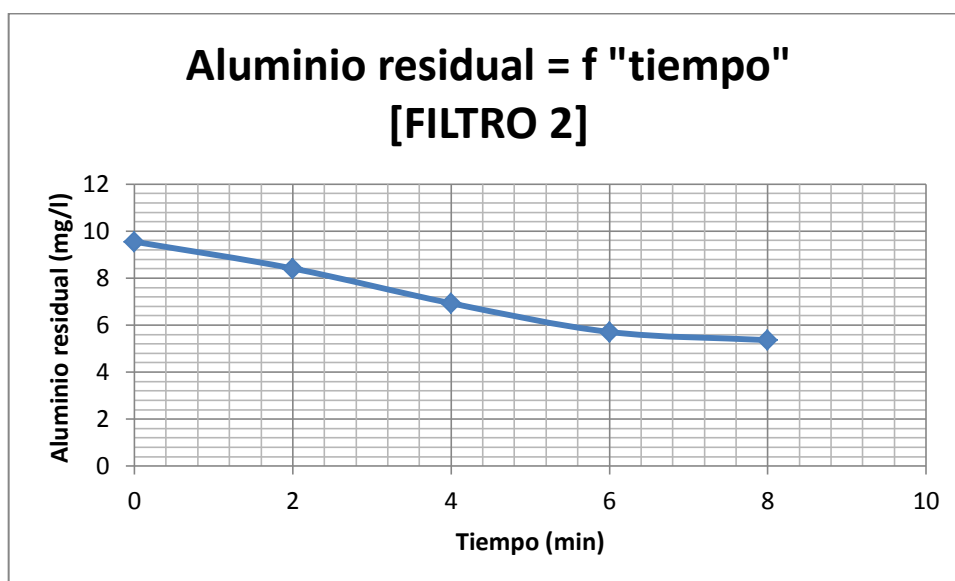


Gráfico 25. Aluminio Residual en función del tiempo [FILTRO 2]

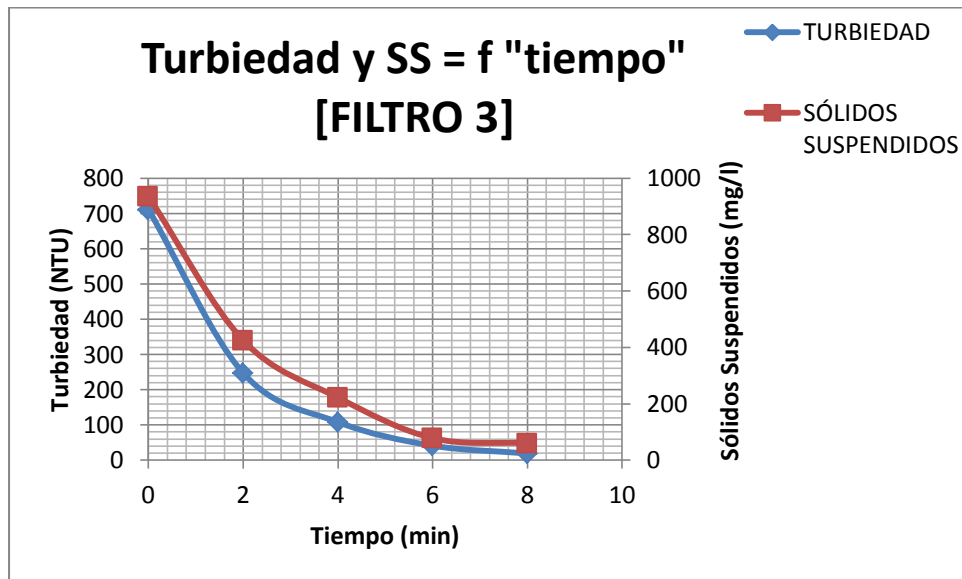


Gráfico 26. Turbiedad y Sólidos Suspendidos en función del tiempo [FILTRO 3]

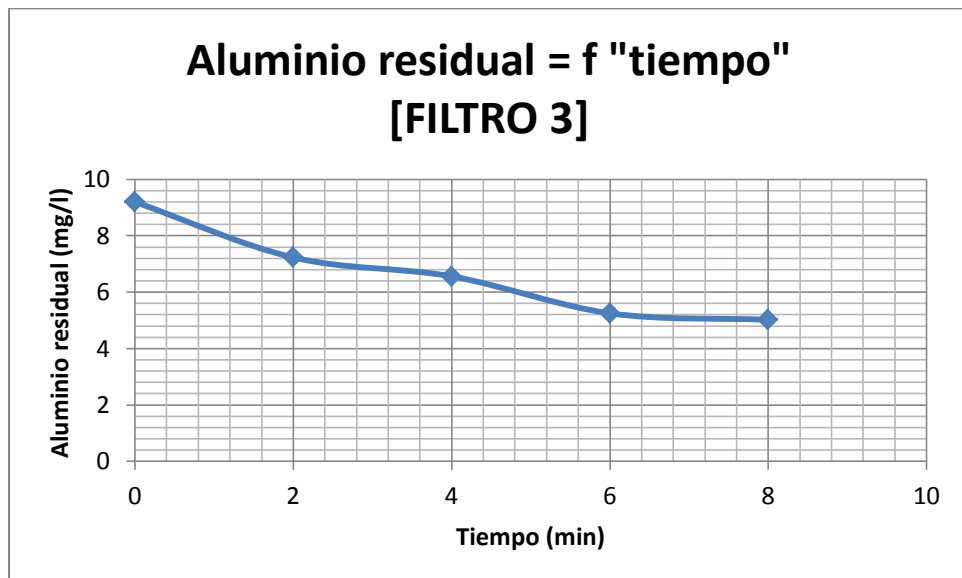


Gráfico 27. Aluminio Residual en función del tiempo [FILTRO 3]

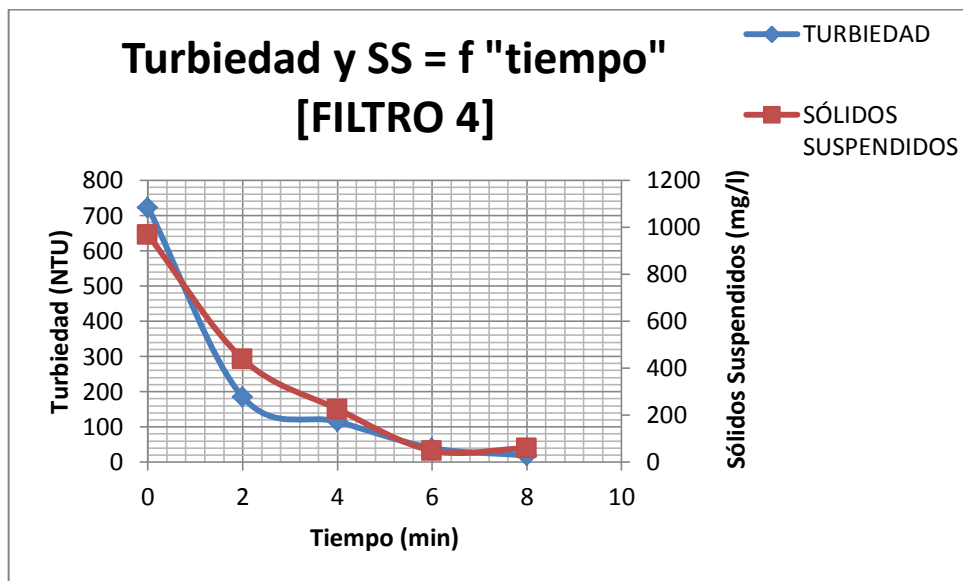


Gráfico 28. Turbiedad y Sólidos Suspendidos en función del tiempo [FILTRO 4]

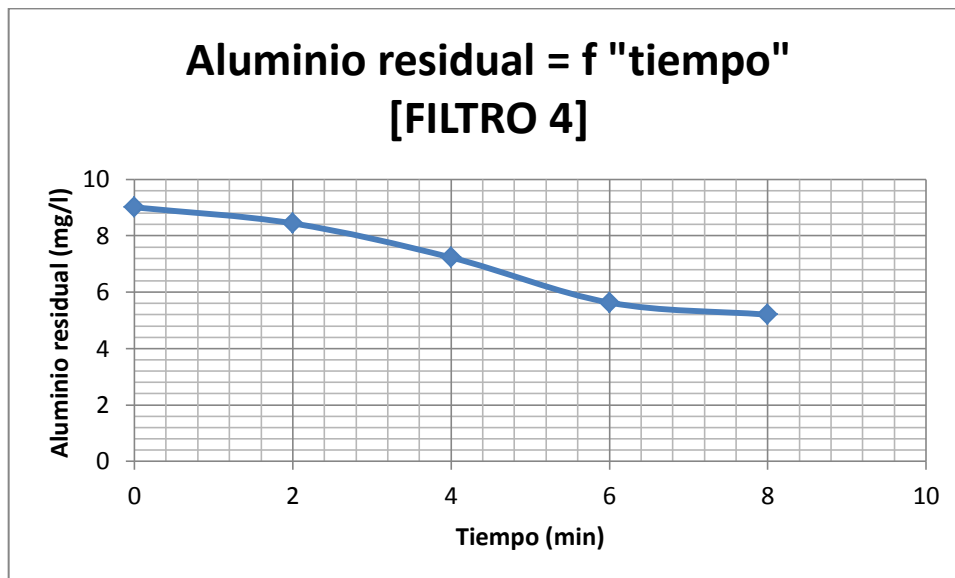


Gráfico 29. Aluminio Residual en función del tiempo [FILTRO 4]

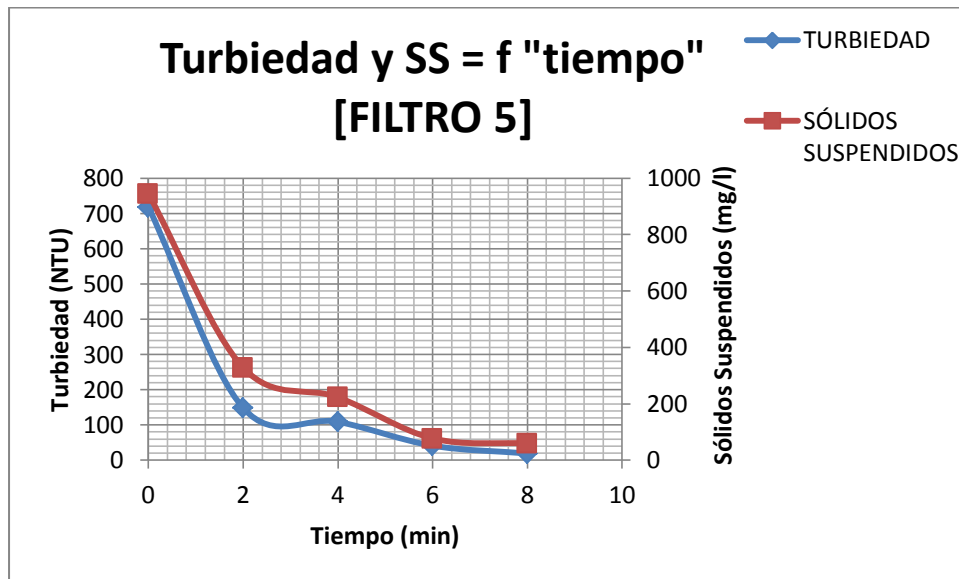


Gráfico 30. Turbiedad y Sólidos Suspendedos en función del tiempo [FILTRO 5]

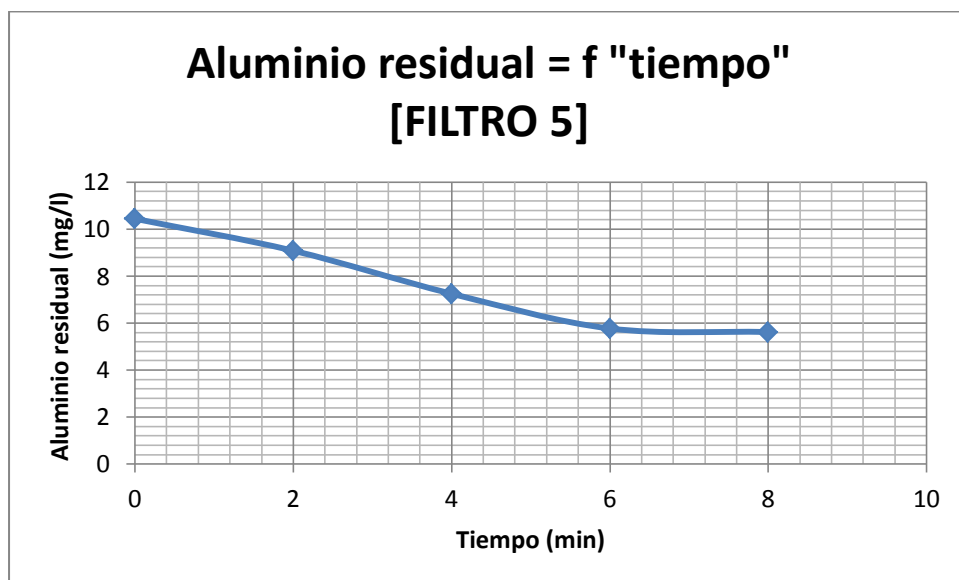


Gráfico 31. Aluminio Residual en función del tiempo [FILTRO 5]

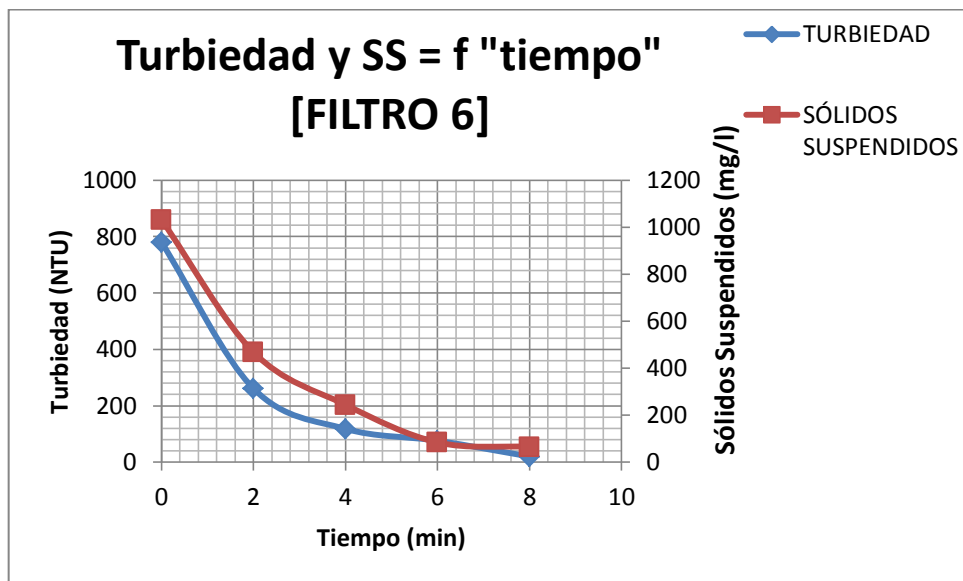


Gráfico 32. Turbiedad y Sólidos Suspendedos en función del tiempo [FILTRO 6]

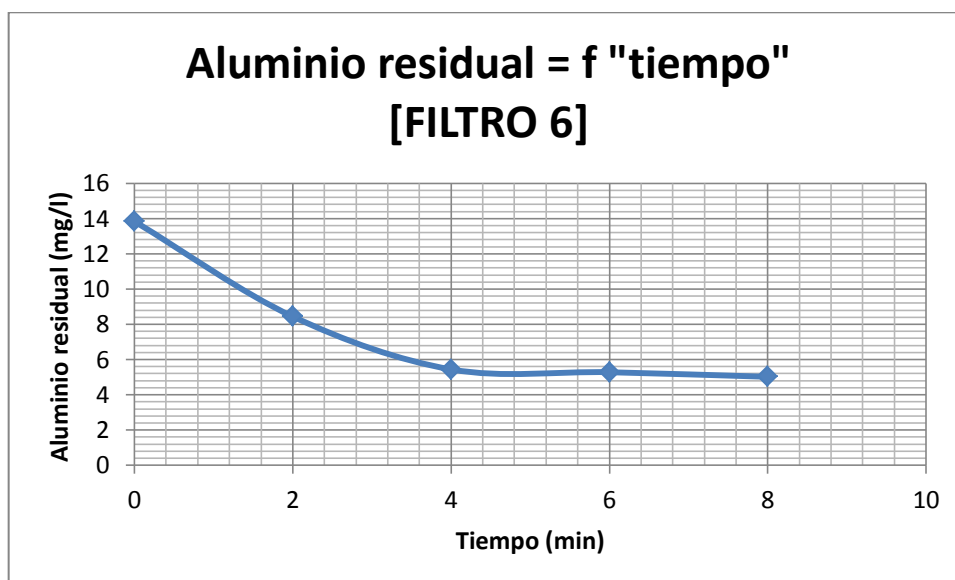


Gráfico 33. Aluminio Residual en función del tiempo [FILTRO 6]

- **Variación del tiempo de lavado.** Para esto, se procedió a realizar el lavado del filtro 6 (presenta las condiciones más altas) en un tiempo menor al de las 8 horas en las que comúnmente es lavado. Y se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 115. Datos de retrolavado (modificando el tiempo de lavado) a las 42 horas

DURACIÓN DE RETROLAVADO FILTRO 6 (lavado a las 42 horas)					
TIEMPO (min)	Inicial	2	4	6	Final
PARÁMETROS DE MEDIDA					
pH	8.11	8.09	8.08	8.05	8.04
Conductividad (uS/cm)	176.7	176.0	175.5	174.8	173.3
Color (UC Pt-Co)	264	103	92	42	28
Turbiedad (NTU)	280	97	72	33	13
Sólidos Suspendedos (mg/l)	311	156	62	47	28
Aluminio residual (mg/l)	5.37	5.18	5.01	4.93	4.81

Tabla 116. Datos de retrolavado (modificando el tiempo de lavado) a las 36 horas

DURACIÓN DE RETROLAVADO FILTRO 6 (lavado a las 36 horas)					
TIEMPO (min)	Inicial	2	4	6	Final
PARÁMETROS DE MEDIDA					
pH	7.54	7.53	7.50	7.50	7.41
Conductividad (uS/cm)	204.3	200.7	200.3	199.5	199.4
Color (UC Pt-Co)	185	65	59	33	22
Turbiedad (NTU)	229	79	58	21	10
Sólidos Suspendedos (mg/l)	249	113	59	45	26
Aluminio residual (mg/l)	5.12	5.03	4.97	4.81	4.77

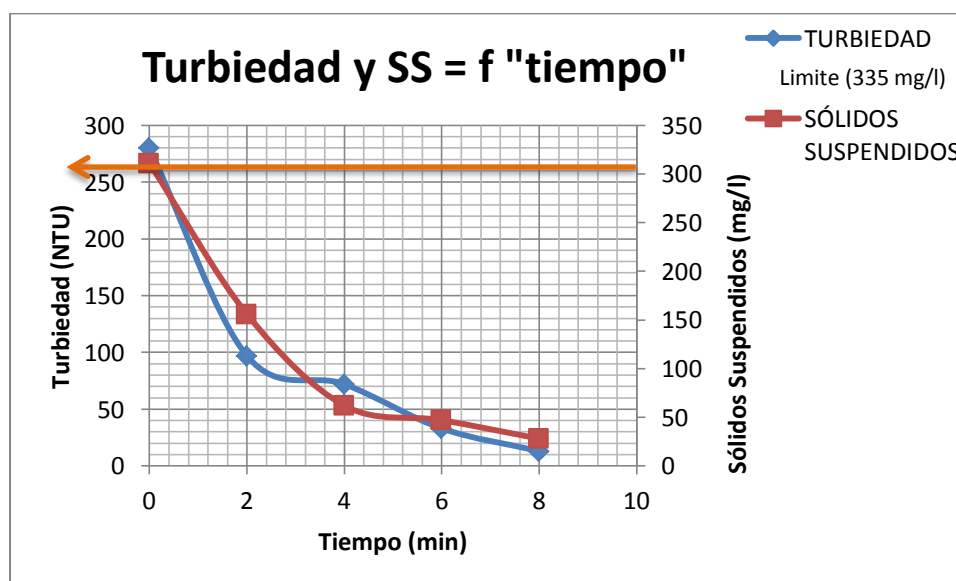


Gráfico 34. Turbiedad y Sólidos Suspendedos en función del tiempo [FILTRO 6] (42 horas)

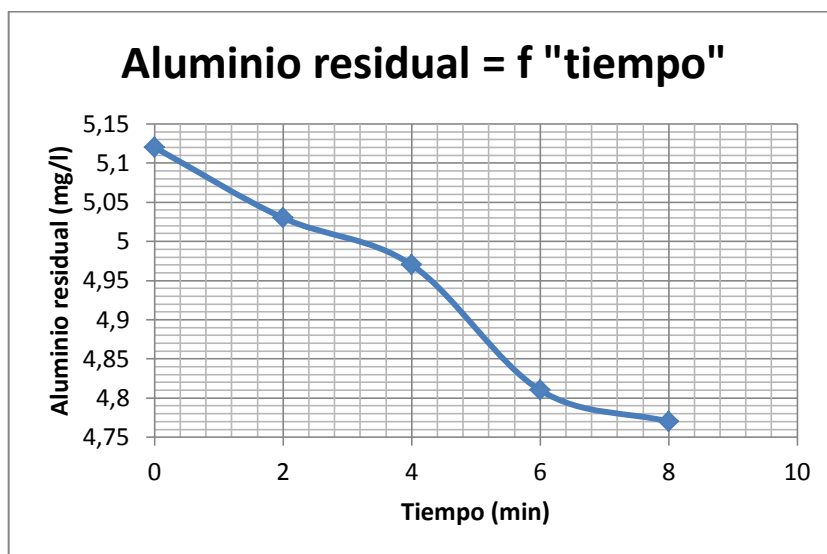


Gráfico 35. Aluminio Residual en función del tiempo [FILTRO 6] (42 horas)

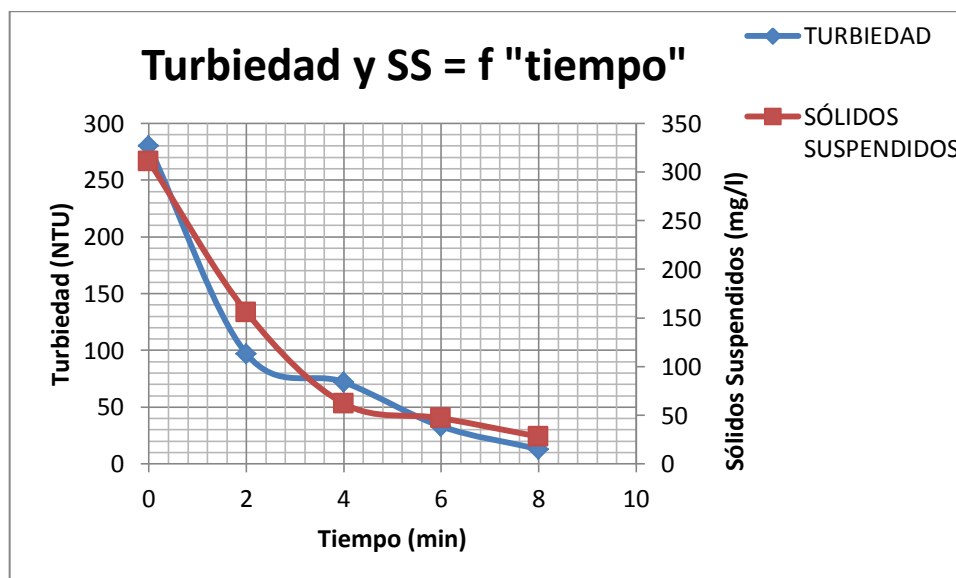


Gráfico 36. Turbiedad y Sólidos Suspendedos en función del tiempo [FILTRO 6] (36 horas)

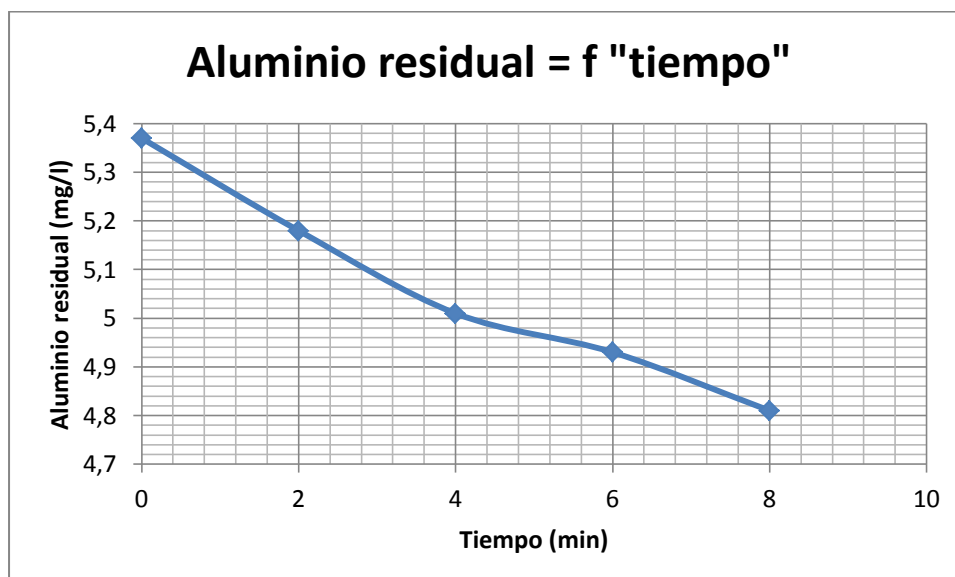


Gráfico 37. Aluminio Residual en función del tiempo [FILTRO 6] (36 horas)

3.1.10.4 Análisis del tiempo de lavado. Mediante los resultados se puede observar que, partiendo de condiciones iniciales en donde los filtros se lavan cada 8 horas y cada 48 horas el mismo filtro con una duración del lavado de 8min cada filtro; los resultado se encuentran fuera del límite establecido por la Norma Técnica de la Ordenanza 213 en Sólidos Suspendidos al igual que en Aluminio; sin embargo, las gráficas nos indican que se tendrá mejores resultado con un lavado cada 7 horas, es decir cada 42 horas el mismo filtro, pero también nos indica que con un tiempo de lavado de 6 min es suficiente para tener resultados aceptables.

Permitiendo entonces la realización del siguiente análisis:

Tabla 117. Análisis de volúmenes del agua de lavado

OPERACIÓN DE FILTROS			
Condiciones Iniciales	OPERACIÓN	Febrero	
	Número de filtros lavados	3	día
	Número de filtros lavados	84	28 días
	Promedio de gasto en cada lavado	70,00	m ³
	Volumen total de agua de lavado	5.880	m ³
	Tiempo de operación	3.998	horas
	Carrera promedio	47,60	horas
	Área por filtro	12,0	m ²
Condiciones propuestas Cambio de 8 a 7 horas	Número de filtros lavados	3-4	día
	Número de filtros lavados	96	28 días
	Promedio de gasto en cada lavado	70,00	m ³
	Volumen total de agua de lavado propuesto	6.720	m ³
	Volumen total de agua de lavado inicial	5.880	m ³
	Diferencia de volumen	840 (adicional)	m ³
Condiciones propuestas Cambio de 8 a 6 min	Número de filtros lavados	3-4	día
	Número de filtros lavados	96	28 días
	Promedio de gasto en cada lavado	52,50	m ³
	Volumen total de agua de lavado propuesto	5040	m ³
	Volumen total de agua de lavado inicial	5.880	m ³
	Diferencia de volumen	840 (menos)	m ³

3.1.10.5 Balance de masa en los filtros. Los cálculos se realizan con datos de la Tabla 72 a las condiciones más altas, que serán los SS que ingresen al filtro.

Datos:

- Concentración de SS en el tiempo óptimo de sedimentación: 14 [mg/l]
- Tiempo de lavado: 48 [horas] el mismo filtros
- Caudal de trabajo: 210 [l/s] = 756 [m³/h]
- Concentración de SS del agua cruda: 30 [mg/l]
- Concentración de SS a la entrada del filtro: 14 [mg/l]
- Concentración de SS a la salida del filtro: 2 [mg/l]

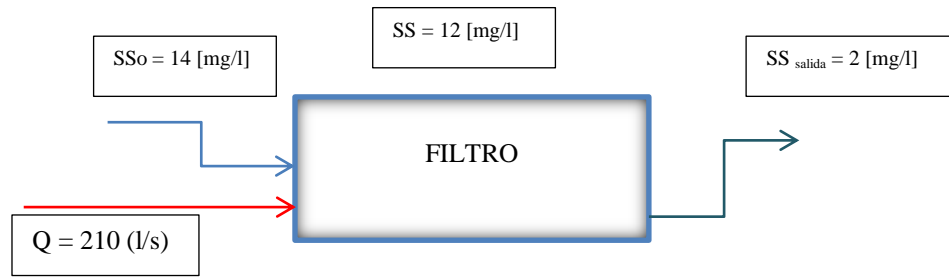


Figura 33. Balance de masa en el filtro

3.1.10.5.1 Cálculo de la masa de lodo en el filtro.

$$m = Q * SS * t \quad (33)$$

$$756 \frac{m^3}{h} * 12 \frac{g}{m^3} * 48 h = 435.45 \text{ kg lodo}$$

3.1.10.5.2 Cálculo del espesor del lodo en el filtro

Datos:

Área del filtro: 12.1 m^2

Se asume que la densidad de los lodos es $\approx 1000 \text{ [kg/m}^3\text{]}$

$$V_{\text{lodo}} = A * h \quad (34)$$

$$h = \frac{0.43545 \text{ m}^3}{12.1 \text{ m}^2} = 3.59 \text{ cm}$$

3.1.10.5.3 Cálculo de la masa del lodo a diferentes caudales

Tabla 118. Valores de masa y espesor del lodo en el filtro Caudal [205 l/s]

Caudal (l/s)*	Sólidos Suspendidos que ingresan al filtro (kg/m ³)	Sólidos Suspendidos que permanecen en el filtro (kg/m ³)	Masa de lodo (kg)	Espesor de lodo en el filtro (cm)
205	0.019	0.017	602,208	4,977
205	0.014	0.012	425,088	3,513
205	0.010	0.008	283,392	2,342
205	0.008	0.006	212,544	1,757
205	0.005	0.003	106,272	0,878
205	0.004	0.002	70,848	0,586

Tabla 119. Valores de masa y espesor del lodo en el filtro Caudal [210 l/s]

Caudal (l/s)*	Sólidos Suspendidos que ingresan al filtro (kg/m ³)	Sólidos Suspendidos que permanecen en el filtro (kg/m ³)	Masa de lodo (kg)	Espesor de lodo en el filtro (cm)
210	0.019	0.017	616,896	5,098
210	0.014	0.012	435,456	3,599
210	0.010	0.008	290,304	2,399
210	0.008	0.006	217,728	1,799
210	0.005	0.003	108,864	0,900
210	0.004	0.002	72,576	0,600

Tabla 120. Valores de masa y espesor del lodo en el filtro Caudal [215 l/s]

Caudal (l/s)*	Sólidos Suspendidos que ingresan al filtro (kg/m ³)	Sólidos Suspendidos que permanecen en el filtro (kg/m ³)	Masa de lodo (kg)	Espesor de lodo en el filtro (cm)
215	0.019	0.017	631,584	5,220
215	0.014	0.012	445,824	3,684
215	0.010	0.008	297,216	2,456
215	0.008	0.006	222,912	1,842
215	0.005	0.003	111,456	0,921
215	0.004	0.002	74,304	0,614

Tabla 121. Valores de masa y espesor del lodo en el filtro Caudal [220 l/s]

Caudal (l/s)*	Sólidos Suspendidos que ingresan al filtro (kg/m ³)	Sólidos Suspendidos que permanecen en el filtro (kg/m ³)	Masa de lodo (kg)	Espesor de lodo en el filtro (cm)
220	0.019	0.017	646,272	5,341
220	0.014	0.012	456,192	3,770
220	0.010	0.008	304,128	2,513
220	0.008	0.006	228,096	1,885
220	0.005	0.003	114,048	0,943
220	0.004	0.002	76,032	0,628

Tabla 122. Valores de masa y espesor del lodo en el filtro Caudal [225 l/s]

Caudal (l/s)*	Sólidos Suspendidos que ingresan al filtro (kg/m ³)	Sólidos Suspendidos que permanecen en el filtro (kg/m ³)	Masa de lodo (kg)	Espesor de lodo en el filtro (cm)
225	0.019	0.017	660,96	5,462
225	0.014	0.012	466,56	3,856
225	0.010	0.008	311,04	2,571
225	0.008	0.006	233,28	1,928
225	0.005	0.003	116,64	0,964
225	0.004	0.002	77,76	0,643

Tabla 123. Valores de masa y espesor del lodo en el filtro Caudal [230 l/s]

Caudal (l/s)*	Sólidos Suspendidos que ingresan al filtro (kg/m ³)	Sólidos Suspendidos que permanecen en el filtro (kg/m ³)	Masa de lodo (kg)	Espesor de lodo en el filtro (cm)
230	0.019	0.017	675,648	5,584
230	0.014	0.012	476,928	3,942
230	0.010	0.008	317,952	2,628
230	0.008	0.006	238,464	1,971
230	0.005	0.003	119,232	0,985
230	0.004	0.002	79,488	0,657

3.1.10.5.4 Cálculo del tiempo de lavado de los filtros a diferentes caudales de trabajo

Datos:

Valor de masa de lodo máximo para que se compacte el filtro: 435.45 kg

Para un caudal de 210 l/s

$$m = Q * SS * t$$

$$t = \frac{m}{Q * SS}$$

$$t = \frac{435.48 \text{ kg}}{756 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * 0.012 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 48.00 \text{ h}$$

En un cronograma de cada 8.00 [h] la serie de 6 filtros

Tabla 124. Tiempo de lavado de filtros a varios caudales de entrada

Caudal (l/s)*	Caudal (m³/h)	Sólidos Suspendidos en el filtro constante (mg/l)	Tiempo (h)	Cronogramas de lavado 6filtros (h)
205	738	12	49,171	8,2
210	756	12	48,000	8,0
215	774	12	46,884	7,8
220	792	12	45,818	7,6
225	810	12	44,800	7,5
230	828	12	43,826	7,3

* Por motivo de análisis se asume varios valores de caudal de entrada

3.2 Resultados.

Una vez tabulados los datos de la experimentación y realizados todos los cálculos pertinentes se obtuvo los siguientes resultados; que representan los valores y condiciones óptimas de trabajo.

Tabla 125. Resultados óptimos de coagulante y floculante en pruebas de jarras (Sulfato de aluminio)

	Condiciones prueba de jarras				Tipo de coagulante: Sulfato de aluminio		Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)		CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012	
	Mezcla rápida: 100rpm – 1min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min						pH: 7.4 Color (UC Pt-Co): 22 Turbiedad (NTU): 11.2 Conductividad (uS/cm): 236 Sólidos suspendidos (mg/l): 26	
	Prueba de Jarras		Agua sedimentada							CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013 pH: 7.62 Color (UC Pt-Co): 18 Turbiedad (NTU): 12.5 Conductividad (uS/cm): 228 Sólidos suspendidos (mg/l): 26
Mes	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)		
Diciembre	60	0.15	8	10	0.304	7.28	235	3		
Enero	65	0.15	8	9	0.221	7.38	210	5		
Febrero	80	0.15	8	12	0.601	7.61	183	9		
Marzo	70	0.15	6	9	0.205	7.28	203	10		
	CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013				CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013					
	pH: 7.94 Color (UC Pt-Co): 26 Turbiedad (NTU): 19 Conductividad (uS/cm): 2 Sólidos suspendidos (mg/l): 30				pH: 7.45 Color (UC Pt-Co): 24 Turbiedad (NTU): 11.8 Conductividad (uS/cm): 173 Sólidos suspendidos (mg/l): 22					

Tabla 126. Resultados óptimos de coagulante y floculante en pruebas de jarras (Policloruro de aluminio)

	Condiciones prueba de jarras				Tipo de coagulante: Policloruro de aluminio		Tipo de floculante: Catiónico (LIPESA 1560 PWG)		CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA Fecha de Muestreo: 17 de Diciembre de 2012	
	Mezcla rápida: 100rpm – 1min	Mezcla lenta: 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min						pH: 7.4 Color (UC Pt-Co): 22 Turbiedad (NTU): 11.2 Conductividad (uS/cm): 236 Sólidos suspendidos (mg/l): 26	
	Prueba de Jarras			Agua sedimentada					CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA Fecha de Muestreo: 04 de Enero de 2013	
Mes	dosís de coagulante (mg/l)	dosís de floculante (mg/l)	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad uS/cm	Sólidos suspendidos (mg/l)		
Diciembre	60	0.15	8	8	0.219	7.71	229	2		
Enero	65	0.15	8	9	0.197	7.24	214	4		
Febrero	80	0.15	8	12	0.571	7.53	190	7		
Marzo	70	0.15	8	11	0.194	6.95	170	10		
	CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA Fecha de Muestreo: 13 de Febrero de 2013				CARACTERÍSTICA AGUA CRUDA Fecha de Muestreo: 07 de Marzo de 2013				pH: 7.62 Color (UC Pt-Co): 18 Turbiedad (NTU): 12.5 Conductividad (uS/cm): 228 Sólidos suspendidos (mg/l): 24	
	pH: 7.94 Color (UC Pt-Co): 26 Turbiedad (NTU): 19 Conductividad (uS/cm): 2 Sólidos suspendidos (mg/l): 30				pH: 7.45 Color (UC Pt-Co): 24 Turbiedad (NTU): 11.8 Conductividad (uS/cm): 173 Sólidos suspendidos (mg/l): 22					

Tabla 127. Resultados óptimos en pruebas de gradiente y tiempo óptimo de floculación

Prueba 1	Condiciones prueba de jarras					Tipo de coagulante: Sulfato de aluminio	Tipo de floculante: (LIPESA 1560 PWG)	CARACTERISTICAS AGUA CRUDA	
	Mezcla rápida: 100rpm – 1min	Mezcla lenta: G = 26 40 rpm-20min	Sedimentación: 0 rpm – 20min					pH: 7.4 Color (UC Pt-Co): 22 Turbiedad (NTU): 11.2 Sólidos suspendidos (mg/l): 26 Temperatura (°C): 14.3 Conc. óptima: 60mg/l – 0.15mg/l	17 de Diciembre de 2012
	Prueba de Jarras (SSo = 24-26 mg/l)								
Jarra Nº	dosis de coagulante (mg/l)	dosis de floculante (mg/l)	Tiempo	I. W.	Color	Turbiedad (NTU)	pH	Sólidos suspendidos (mg/l)	pH: 7.62 Color (UC Pt-Co): 18 Turbiedad (NTU): 12.5 Sólidos suspendidos (mg/l): 24 Temperatura (°C): 13.6 Conc. óptima: 65mg/l – 0.15mg/l
1	60	0.15	17	4	17	6.64	7.36	24	04 de Enero de 2013
2	60	0.15	23	6	15	5.24	7.45	19	
3	60	0.15	30	8	11	0.388	7.24	5	
4	60	0.15	37	8	11	0.422	7.27	6	
5	60	0.15	43	8	11	0.558	7.13	6	13 de Febrero de 2013
6	60	0.15	50	8	12	1.77	7.24	11	
	Prueba de Jarras (SSo = 22-30 mg/l)								
1	70	0.15	17	4	22	9.46	7.01	17	07 de Marzo de 2013
2	70	0.15	23	6	19	5.85	7.11	14	
3	70	0.15	30	8	15	0.783	7.56	10	
4	70	0.15	37	8	14	0.847	7.26	10	
5	70	0.15	43	8	14	0.975	7.31	11	
6	70	0.15	50	8	17	2.59	7.28	11	

Tabla 128. Resultados de parámetros físicos medidos del agua sedimentada

PROCEDENCIA: PLANTA DE CONOCOTO				PROMEDIOS DE CADA MES			
Coagulante Flocculante							
CONDICIONES ÓPTIMAS: 60mg/l – 0.15mg/L Diciembre							
CONDICIONES ÓPTIMAS: 65mg/l – 0.15mg/L Enero							
CONDICIONES ÓPTIMAS: 80mg/l – 0.15mg/L Febrero							
CONDICIONES ÓPTIMAS: 70mg/l – 0.15mg/L Marzo							
COAGULANTE: Sulfato de aluminio							
FLOCULANTE : (LIPESA 1560 PWG)							

PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO DE ANÁLISIS	(Planta)			(Experimentación)			
						DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
PARÁMETROS FÍSICOS			DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO				
TEMPERATURA	°C	Termométrico	13.4	13.4	15.7	13.8	13.6	13.1	12.7
pH	-	Electrométrico	8,33	8,33	8,08	7.28	7.38	7.61	7.28
COLOR	Pt-Co	Comparación visual Platino Cobalto	28	44	59	10	9	12	9
TURBIEDAD	NTU	Nefelométrico	5.00	9.72	10.68	0.304	0.211	0.601	0.205
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	Conductivimétrico	225	225	188	235	210	183	203
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	mg/l	Gravimétrico	26	24	30	3	5	9	10

Tabla 129. Resultados de parámetros inorgánicos medidos del agua sedimentada

PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO DE ANÁLISIS	(Planta)			(Experimentación)			
			DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
ALCALINIDAD (CaCO ₃)	mg/l	Titulométrico (H ₂ SO ₄)	78	78	78	67.3	71	69	62
DUREZA TOTAL (CaCO ₃)	mg/l	Titulométrico (EDTA)	78,0	78,0	68,0	72.0	73.0	64.0	66.0
CALCIO (Ca ²⁺)	mg/l	Titulométrico (EDTA)	14,4	14,4	12.8	14.0	14.1	12.4	12.32
MAGNESIO (Mg ²⁺)	mg/l	Cálculo	10.24	10.24	8.78	9.02	9.02	8.05	8.34
MANGANESO (Mn ²⁺)	mg/l	Espectrofotométrico (Persulfato)	0,00	0,00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
ALUMINIO (Al ³⁺)	mg/l	Espectrofotométrico (Eriocromo cianina R)	0,012	0,012	0,011	0.304	0.568	0.260	0.336
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/l	Espectrofotométrico (Fenantrolina)	0,60	0,60	0,91	0.07	0.09	0.07	0.09
FLUORUROS (F ⁻)	mg/l	Espectrofotométrico (Spands)	0,53	0,43	0,53	0.37	0.22	0.39	0.34
AMONIACO (NH ₃)	mg/l	Espectrofotométrico (Nesslerización)	0,48	0,48	0,40	0.31	0.23	0.21	0.33
NITRITOS (NO ₂ ⁻)	mg/l	Espectrofotométrico (Diazotación)	0,054	0,053	0,050	0.036	0.041	0.047	0.04
NITRATOS (NO ₃ ⁻)	mg/l	Espectrofotométrico (Reducción cadmio)	3,43	6.04	3,68	6.0	4.90	4.50	5.6
SULFATOS (SO ₄ ²⁻)	mg/l	Espectrofotométrico (Turbidimétrico)	16	16	16	24	32	31	33
FOSFATOS (PO ₄ ³⁻)	mg/l	Espectrofotométrico (Ácido ascórbico)	0,29	0,29	0,33	0.08	0.11	0.10	0.10
SÍLICE SiO ₂	mg/l	Espectrofotométrico (Molibdosilicato)	43.0	43.0	49.0	43.1	44.2	44.3	47.7

Tabla 130. Resultados de diseño del floculador (Sección 1)

Floculador (experimental)												
Caudal	Tiempo de floculación	Sólidos Suspendidos [SSo = 26]	Volumen del floculador	Longitudes de los canales	Sección de canal	Espaciamiento entre tabiques	Espaciamiento entre la punta del tabique y la pared	Ancho del tabique	Numero de tabiques	Numero de tabiques Reales	Longitud del floculador	Pérdida de carga por el cambio de dirección y turbulencia h1
(l/s)	(min)	(mg/l)	m3	m	m2	m	m	m	#	#	m	cm
210	7	24	88,2	63	0,700	0,538	0,808	18,808	3,350	4,000	2,154	4,614
210	13	19	163,8	117	0,700	0,538	0,808	18,808	6,221	7,000	3,769	8,570
210	20	5	252,0	180	0,700	0,538	0,808	18,808	9,571	10,000	5,385	13,184
210	27	5	340,2	243	0,700	0,538	0,808	18,808	12,920	13,000	7,000	17,798
210	33	6	415,8	297	0,700	0,538	0,808	18,808	15,791	16,000	8,615	21,753
210	40	6	504,0	360	0,700	0,538	0,808	18,808	19,141	20,000	10,769	26,368
Floculador (planta)												
Caudal	Tiempo de floculación	Sólidos Suspendidos	Volumen del floculador	Longitudes de los canales	Sección de canal	Espaciamiento entre tabiques	Espaciamiento entre la punta del tabique y la pared	Ancho del tabique	Numero de tabiques	Numero de tabiques Reales	Longitud del floculador	Pérdida de carga por el cambio de dirección y turbulencia h1
(l/s)	(min)**	(mg/l)	m3	m	m2	m	m	m	#	#	m	cm
210	20	30	240	242.2	0.6	1.30	0.90	18.2	14	14	10.0	14.5

Tabla 131. Resultados de diseño del floculador (Sección 2)

Floculador (experimental)												
Caudal	Tiempo de floculación	Sólidos Suspendidos [SSo = 26]	Volumen del floculador	Longitudes de los canales	Sección de canal	Espaciamiento entre tabiques	Espaciamiento entre la punta del tabique y la pared	Ancho del tabique	Numero de tabiques	Numero de tabiques Reales	Longitud del floculador	Pérdida de carga por el cambio de dirección y turbulencia h1
(l/s)	(min)	(mg/l)	m3	m	m2	m	m	m	#	#	m	cm
210	7	24	21	2,100	1,615	2,423	20,423	1,028	2,000	3,231	0,306	21
210	13	19	39	2,100	1,615	2,423	20,423	1,910	3,000	4,846	0,459	39
210	20	5	60	2,100	1,615	2,423	20,423	2,938	4,000	6,462	0,612	60
210	27	5	81	2,100	1,615	2,423	20,423	3,966	5,000	8,077	0,765	81
210	33	6	99	2,100	1,615	2,423	20,423	4,847	6,000	9,692	0,918	99
210	40	6	120	2,100	1,615	2,423	20,423	5,876	7,000	11,308	1,071	120
Floculador (planta)												
Caudal	Tiempo de floculación	Sólidos Suspendidos	Volumen del floculador	Longitudes de los canales	Sección de canal	Espaciamiento entre tabiques	Espaciamiento entre la punta del tabique y la pared	Ancho del tabique	Numero de tabiques	Numero de tabiques Reales	Longitud del floculador	Pérdida de carga por el cambio de dirección y turbulencia h1
(l/s)	(min)**	(mg/l)	m3	m	m2	m	m	m	#	#	m	cm
210	20	30	240	169	0.62	1,84	1.30	16.9	10	10	10.77	3.6

Tabla 132. Resultados de diseño, calculados para el sedimentador

[Muestra SSo: (24 -26 mg/l)]

V₁ = 123,0			V₂ = 252,0			V₃ = 387,0		
Caudal	Tiempo de sedimentación	% Sólidos Suspendidos separados	Caudal	Tiempo de sedimentación	% Sólidos Suspendidos separados	Caudal	Tiempo de sedimentación	% Sólidos Suspendidos separados
(l/s)	(min) V/Q		(l/s)	(min) V/Q		(l/s)	(min) V/Q	
205	10,000	39,684	205	20,488	56,273	205	31,463	69,074
210	9,762	39,112	210	20,000	55,726	210	30,714	68,028
215	9,535	38,554	215	19,535	55,197	215	30,000	67,068
220	9,318	38,010	220	19,091	54,681	220	29,318	66,184
225	9,111	37,480	225	18,667	54,179	225	28,667	65,366
230	8,913	36,963	230	18,261	53,688	230	28,043	64,606

V₄ = 528,0			V₅ = 675,0			V₆ = 828,0		
Caudal	Tiempo de sedimentación	% Sólidos Suspendidos separados	Caudal	Tiempo de floculación	% Sólidos Suspendidos separados	Caudal	Tiempo de floculación	% Sólidos Suspendidos separados
(l/s)	(min) V/Q		(l/s)	(min) V/Q		(l/s)	(min) V/Q	
205	42,927	79,009	205	54,878	84,403	205	67,317	90,560
210	41,905	76,478	210	53,571	84,062	210	65,714	89,329
215	40,930	74,164	215	52,326	83,498	215	64,186	88,317
220	40,000	72,046	220	51,136	82,922	220	62,727	86,712
225	39,111	70,105	225	50,000	82,341	225	61,333	86,410
230	38,261	68,324	230	48,913	81,083	230	60,000	85,979

Tabla 133. Resultados de diseño, calculados para el sedimentador

[Muestra SSo: (22 -30 mg/l)]

V₁ = 123,0			V₂ = 252,0			V₃ = 387,0		
Caudal	Tiempo de floculación	% Sólidos Suspendidos separados	Caudal	Tiempo de floculación	% Sólidos Suspendidos separados	Caudal	Tiempo de floculación	% Sólidos Suspendidos separados
(l/s)	(min) V/Q		(l/s)	(min) V/Q		(l/s)	(min) V/Q	
205	10,000	38,306	205	20,488	55,093	205	31,463	63,614
210	9,762	37,730	210	20,000	54,580	210	30,714	63,149
215	9,535	37,170	215	19,535	54,075	215	30,000	62,694
220	9,318	36,625	220	19,091	53,576	220	29,318	62,251
225	9,111	36,096	225	18,667	53,084	225	28,667	61,817
230	8,913	35,580	230	18,261	52,598	230	28,043	61,392

V₄ = 528,0			V₅ = 675,0			V₆ = 828,0		
Caudal	Tiempo de floculación	% Sólidos Suspendidos separados	Caudal	Tiempo de floculación	% Sólidos Suspendidos separados	Caudal	Tiempo de floculación	% Sólidos Suspendidos separados
(l/s)	(min) V/Q		(l/s)	(min) V/Q		(l/s)	(min) V/Q	
205	42,927	73,863	205	54,878	85,054	205	67,317	89,984
210	41,905	73,573	210	53,571	84,883	210	65,714	88,860
215	40,930	73,246	215	52,326	84,525	215	64,186	88,027
220	40,000	72,894	220	51,136	83,970	220	62,727	87,676
225	39,111	72,526	225	50,000	83,270	225	61,333	86,969
230	38,261	72,148	230	48,913	81,915	230	60,000	86,015

3.2.1 Rediseño sugerido de la Planta de Tratamiento de Agua de Conocoto

3.2.1.1 Descripción del cálculo del Rediseño. La propuesta rediseño de la Planta engloba una serie de cálculos los cuales nos permitan identificar:

- Volumen del floculador
- Longitudes de los canales
- Sección de canal
- Espaciamiento entre tabiques
- Espaciamiento entre la punta del tabique y la pared
- Ancho del tabique
- Numero de tabiques
- Numero de tabiques Reales
- Longitud del floculador
- Perdida de carga por el cambio de dirección y turbulencia.

3.2.1.2 Esquema del rediseño de la Planta Potabilizadora de Agua de Conocoto. El esquema se realizó al caudal promedio actual de trabajo. [210 l/s]

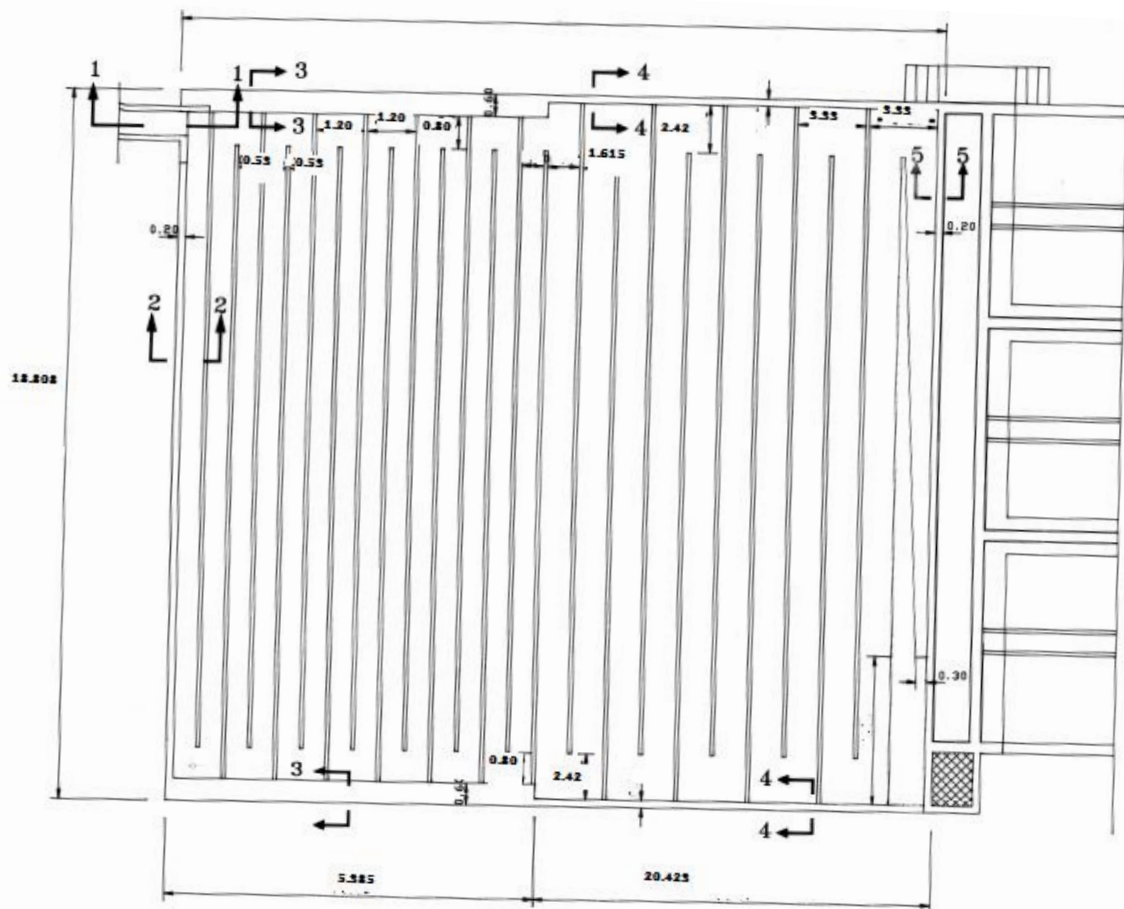


Figura 34. Esquema del Rediseño de la Planta de Tratamiento de Agua de Conocoto

3.2.1.3 Diagrama de Flujo del Rediseño sugerido.

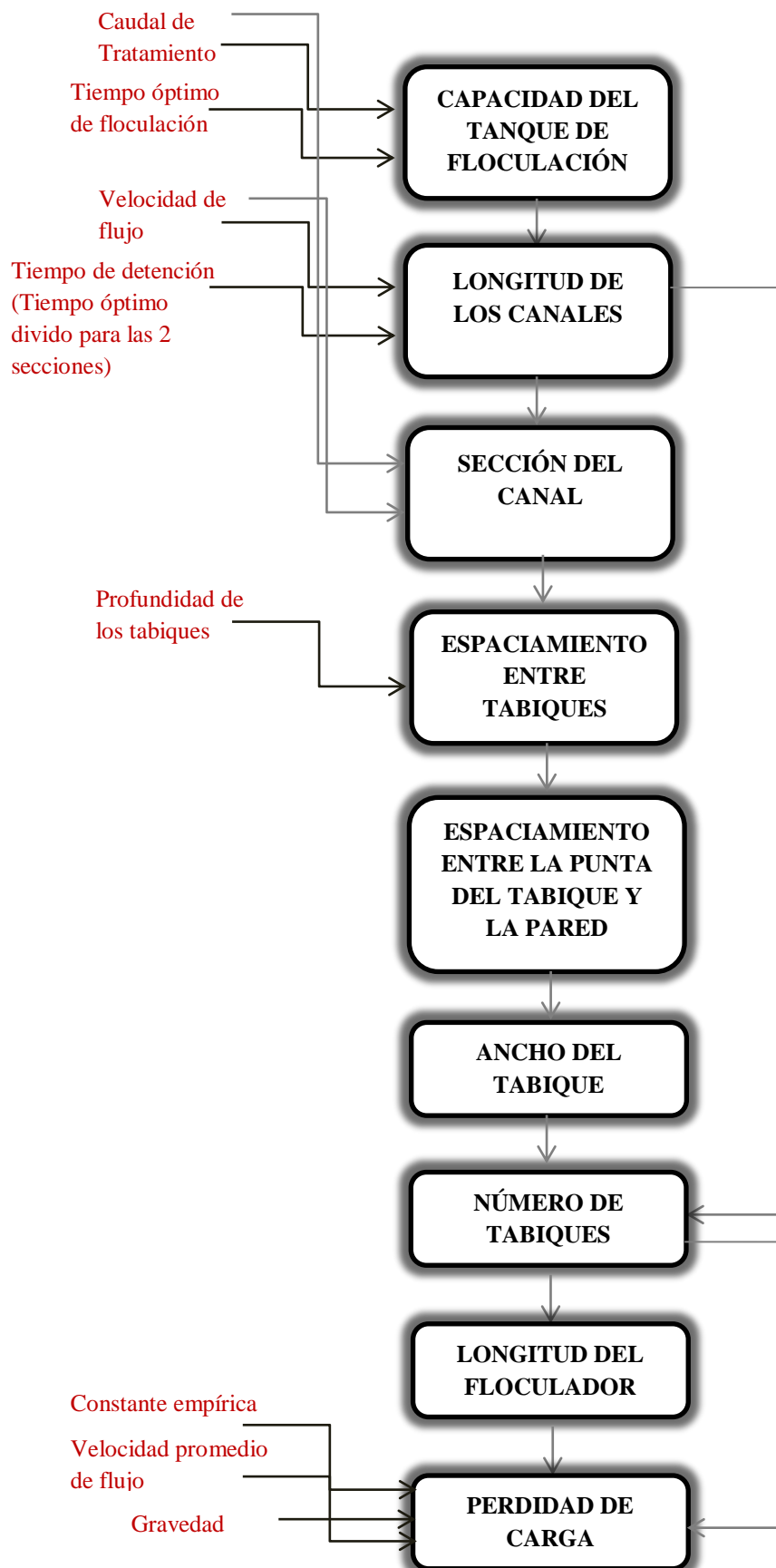


Tabla 134. Resultado de volúmenes del agua de lavado

OPERACIÓN DE FILTROS			
Condiciones Iniciales	OPERACIÓN	Febrero	
	Número de filtros lavados	3	día
	Número de filtros lavados	84	28 días
	Promedio de gasto en cada lavado	70,00	m ³
	Volumen total de agua de lavado	5.880	m ³
	Tiempo de operación	3.998	horas
	Carrera promedio	47,60	horas
	Área por filtro	12,0	m ²
Condiciones propuestas Cambio de 8 a 7 horas	Número de filtros lavados	3-4	día
	Número de filtros lavados	96	28 días
	Promedio de gasto en cada lavado	70,00	m ³
	Volumen total de agua de lavado propuesto	6.720	m ³
	Volumen total de agua de lavado inicial	5.880	m ³
	Diferencia de volumen	840 (adicional)	m ³
Condiciones propuestas Cambio de 8 a 6 min	Número de filtros lavados	3-4	día
	Número de filtros lavados	96	28 días
	Promedio de gasto en cada lavado	52,50	m ³
	Volumen total de agua de lavado propuesto	5040	m ³
	Volumen total de agua de lavado inicial	5.880	m ³
	Diferencia de volumen	840 (menos)	m ³

Tabla 135. Análisis de volúmenes del agua de lavado

Caudal (l/s)*	Caudal (m ³ /h)	Sólidos Suspendidos en el filtro constante (mg/l)	Tiempo (h)	Masa de lodo (kg)	Espesor de lodo en el filtro (cm)	Cronogramas de lavado 6filtros (h)
205	738	12	49,171	425,088	3,513	8,2
210	756	12	48,000	435,456	3,599	8,0
215	774	12	46,884	445,824	3,684	7,8
220	792	12	45,818	456,192	3,770	7,6
225	810	12	44,800	466,560	3,856	7,5
230	828	12	43,826	476,928	3,942	7,3

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Discusión

- ✓ Los resultados de dosificación óptima indican que siempre se necesitará una mayor concentración de coagulante con relación a la dosificación realizada en la planta; es decir aumentando un promedio de un 0.5mg/l se puede tener mejores resultados en la calidad del agua tratada y como consecuencia se tendrá una menor turbiedad, esto pueden evidenciarse en las Tablas 64, 66, 68 y 70.
- ✓ Como resultado de la búsqueda del coagulante que presenta luego de su aplicación una menor cantidad en los parámetros físicos en el agua tratada, se puede evidenciar que es el Policloruro de aluminio ya que muestra mejor comportamiento que el Sulfato de Aluminio, así como también presenta la ventaja de que no se requiere un ajuste de pH para su utilización; sin embargo el resto de pruebas fueron realizadas con el sulfato de aluminio, esto por dos razones muy importantes; la primera porque es el producto químico más utilizado en todas las plantas de tratamiento de agua potable y segundo por su costo.
- ✓ Con la ayuda de las Tablas 60, 61, 62 y 63 se puede evidenciar la influencia que tiene la agitación en el proceso de floculación, ya que si esta es muy alta, lejos de obtener mejores resultados hace que no permita que las partículas se aglutinen y que el floculo aumente de tamaño para que pueda sedimentar.
- ✓ El tiempo óptimo de floculación también es un factor muy importante ya que permite saber el periodo de tiempo exacto que se debe mantener la muestra en la floculación para obtener resultados que se encuentre dentro de los parámetros establecidos por la Norma Técnica de la Ordenanza 213 para el distrito Metropolitano y por la resolución emitida por la Secretaria de Ambiente, con respecto únicamente a SST.
- ✓ Los resultados finales que se pueden observar en las tablas 128 y 129, muestran claramente una disminución en todos los parámetros de medida, y refleja cómo, una dosificación óptima sumada con todas las condiciones de proceso adecuadas, permiten tener resultados óptimos los cuales ayuden a cumplir satisfactoriamente las normas establecidas.

- ✓ Las tablas 130 y 131 permiten realizar una comparación de diseño del floculador, entre la experimental y la actual en la planta, en donde se puede observar un rediseño completo de los valores de cada parámetro, cuyos cambios permitirán una mejora no solo en la disminución de la concentración de los sólidos suspendidos en los filtros, sino en la calidad de agua tratada.
- ✓ En lo que se refiere a la velocidad de sedimentación, se optó por la construcción de una torre de sedimentación a nivel de laboratorio y realizar una sedimentación con floculación y no una sedimentación por zonas, debido a que los lodos en este caso no precipitan en forma uniforme, sino que existen partículas que descienden con mayor rapidez que otras.
- ✓ Con referente al sedimentador las tablas 132 y 133, permiten evidenciar como el porcentaje de sólidos separados disminuye conforme va reduciendo el tiempo de sedimentación, permitiendo que llegue una mayor cantidad de sólidos al filtro
- ✓ En cuanto al análisis del filtro, se puede evidenciar en la tabla 134 que si bien una disminución en las horas del cronograma de lavado generaran un mayor volumen de consumo de agua para el retrolavado, el análisis realizado permitió establecer que con 6 min de lavado es suficiente, compensando así el volumen de gasto de agua utilizada en el lavado de filtros, e incluso generando un ahorro de este volumen de agua.
- ✓ Con la ayuda del balance de masa en el filtro, se puede presenciar como a medida que aumenta el caudal de trabajo se incrementa la masa de lodo, lo que ocasiona que el filtro se tapone con mayor facilidad; y el retrolavado se deba hacer con mayor frecuencia.

4.2 Parámetros Operacionales Recomendados (para el buen funcionamiento de la Planta)

- ✓ Se recomienda el estudio para el diseño y la implementación de dosificadores de coagulante y floculante para una mayor exactitud del caudal de dosificante.
- ✓ Se recomienda la implementación de medidores de pérdida de carga en los filtros, de manera que el retrolavado se realice con especificaciones técnicas adecuadas.
- ✓ Finalmente se recomienda el estudio de la implementación de un filtro prensa que permita recolectar la masa de lodo proveniente del agua de retrolavado, solucionando por completo el problema y contribuyendo así con la conservación del medio ambiente.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones generales

- ✓ Se cumplió los objetivos planteados al inicio del proyecto, tanto generales como específicos; es decir, con las nuevas condiciones de trabajo y el rediseño de la planta se reduce el nivel de sólidos suspendidos presentes en el efluente de agua de retrolavado, y para esto se determinó las condiciones óptimas de dosificación, se realizó un estudio del tiempo óptimo, se realizó un estudio y cálculo con caudales reales de la planta, adicionalmente se determinó el tipo de coagulante óptimo y la eficiencia del floculante en el proceso de clarificación.
- ✓ Adicionalmente se realizaron ensayos de sedimentación para la determinación de su velocidad que se encuentra en un rango de $[1,745 - 25,263](\text{m/h})$, tiempo de sedimentación de 20 min y el rediseño del floculador y el sedimentador y con esto se abarco todo el sistema de clarificación teniendo como resultado un trabajo sustentable en el campo experimental e investigativo.
- ✓ El trabajo experimental se desarrolló en su gran mayoría en el Departamento de Petróleo, Energía y Contaminación (DPEC), que, conjunto con la colaboración del laboratorio de la Planta de Puengasi y las instalaciones de la Planta de Tratamiento de Agua de Conocoto permitieron la elaboración exitosa de este trabajo de investigación.
- ✓ Se puede concluir la gran importancia que tienen estos trabajos de investigación en el plano de optimización de procesos y mejoras ambientales, cuya aplicación permiten un crecimiento continuo de las industrias, en este caso de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento.

5.2 Conclusiones específicas

- ✓ Realizada la experimentación, se concluye que la dosificación óptima para condiciones de SSo: 24mg/l es de 60mg/l de coagulante (Sulfato de Aluminio) - 0.15mg/l de floculante (Polímero LIPESA 1560 PWG); mientras que para condiciones de SSo: 30mg/l es de 70mg/l de coagulante (Sulfato de Aluminio) - 0.15mg/l de floculante (Polímero LIPESA 1560PWG) y que el tiempo óptimo de floculación es de 20 min a una agitación lenta de 40 rpm.
- ✓ Se puede concluir como el rediseño del sedimentador permite determinar, que para valores altos de caudal es decir de 230 (l/s) se tendrá un mayor tiempo de residencia que es de 60(min) y como consecuencia una menor cantidad de sólidos suspendidos que pasen al filtro en este caso de 3(mg/l), sin embargo de igual forma se necesitará un mayor volumen de sedimentador.
- ✓ El balance de masa permite concluir como a mayor caudales es decir de 230 (l/s) mayor será la frecuencia con que se realice el lavado de los filtros, es decir para este caso el lavado de los filtro será cada (7.3 horas) entre filtro y filtro, ya que es mayor la masa de lodo que se acumula en los filtros para este caso es de (476,928 kg); además de complementar la parte experimental que dice que un menor tiempo de retrolavado entre filtro y filtro disminuirá la concentración de sólidos suspendidos en el agua de retrolavado vía drenaje cumpliendo con la Norma Técnica de la Ordenanza 213 de la secretaria de Ambiente.

5.3 Recomendaciones

- ✓ Se recomienda realizar un estudio de la recuperación del Aluminio utilizado en la etapa de clarificación, ya que al final, muestras obtenidas del proceso de retrolavado dan como resultado índices altos de Sulfato de Aluminio residual.
- ✓ Se recomienda realizar un estudio de costos que complemente la investigación, siguiendo los mismos pasos de análisis, pero con un enfoque diferente, para que el Ingeniero a cargo de la Planta tome una decisión considerando que le convendría implementar.
- ✓ Se recomienda realizar estudios de adaptación a cualquier planta de tratamiento perteneciente a la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento; es decir que el plan de trabajo pueda reproducirse para otra planta con un caudal de tratamiento mayor.

CITAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] WIKIPEDIA. *El Agua y sus Propiedades* [en línea]. Documento electrónico disponible en internet [Fecha de consulta: 26 Febrero 2013]. Disponible en: <<http://es.wikipedia.org/wiki/Agua#Propiedades>>.
- [2] DEGRÉMONT. Manual Técnico del Agua. Cuarta edición. Madrid. 1979. pp. 599-601
- [3] IBID (2), pp. 37-38
- [4] MUÑOS Tobar, Freddy y SEGURA Bastidas, Marco. Evaluación del proceso de potabilización de la planta de tratamiento de Puengasi. Trabajo de Grado. Ingeniero Civil. Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemáticas. Quito. 2000. pp. 8-9
- [5] DEGRÉMONT. Manual Técnico del Agua. Cuarta edición. Madrid. 1979. pp. 606-608
- [6] SALLOVITZ, Manuel. Tratado de Ingeniería Sanitaria. Tercera edición. Editorial El Ateneo. Buenos Aires. 1941. p. 67
- [7] IBID (6), pp. 178-179
- [8] PÉREZ, Francisco y URREA, Mario. *Coagulación y floculación* [en línea]. Cartagena. 2011. [Fecha de consulta: 28 Febrero 2013]. Disponible en: <http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6019/mod_resource/content/1/Tema_06_COAGULACION_Y_FLOCULACION.pdf>.
- [9] DEGRÉMONT. Manual Técnico del Agua. Cuarta edición. España. 1979. p. 135
- [10] PÉREZ, Francisco y URREA, Mario. *Coagulación y floculación* [en línea]. Cartagena. 2011. [Fecha de consulta: 01 Marzo 2013]. Disponible en: <http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6019/mod_resource/content/1/Tema_06_COAGULACION_Y_FLOCULACION.pdf>.

- [11] ANDÍA, Yolanda. *Tratamiento de Agua Coagulación y floculación* [en línea]. Lima. 2000. [Fecha de consulta: 01 Marzo 2013]. Disponible en: <<http://www.frm.utn.edu.ar/archivos/civil/Sanitaria/Coagulaci%C3%B3n%20y%20Floculaci%C3%B3n%20del%20Agua%20Potable.pdf>>.
- [12] SALLOVITZ, Manuel. *Tratado de Ingeniería Sanitaria*. Tercera edición. Editorial El Ateneo. Buenos Aires. 1941. p. 183
- [13] PÉREZ, Francisco y URREA, Mario. *Coagulación y floculación* [en línea]. Cartagena. 2011. [Fecha de consulta: 02 Marzo 2013]. Disponible en: <http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6019/mod_resource/content/1/Tema_06_COAGULACION_Y_FLOCULACION.pdf>.
- [14] IBID (13).
- [15] DEGRÉMONT. *Manual Técnico del Agua*. Cuarta edición. España. 1979. pp. 139-140
- [16] IBID. (15), p. 136
- [17] DEGRÉMONT. *Manual Técnico del Agua*. Cuarta edición. España. 1979. 534-536 p.
- [18] IBID. (17), p. 139
- [19] ANDÍA, Yolanda. *Tratamiento de Agua Coagulación y floculación* [en línea]. Lima. 2000. [Fecha de consulta: 01 Marzo 2013]. Disponible en: <<http://www.frm.utn.edu.ar/archivos/civil/Sanitaria/Coagulaci%C3%B3n%20y%20Floculaci%C3%B3n%20del%20Agua%20Potable.pdf>>.
- [20] PÉREZ, Francisco y URREA, Mario. *Coagulación y floculación* [en línea]. Cartagena. 2011. [Fecha de consulta: 02 Marzo 2013]. Disponible en: <http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6019/mod_resource/content/1/Tema_06_COAGULACION_Y_FLOCULACION.pdf>.
- [21] MALDONADO, Victor. *Tratamiento de Agua Coagulación y floculación* [en línea]. [Fecha de consulta: 01 Marzo 2013]. Disponible en: <<http://cdam.minam.gob.pe:8080/bitstream/123456789/109/9/CDAM0000012-8.pdf>>.

- [22] IBID (20).
- [23] MALDONADO, Víctor. Tratamiento de agua para consumo humano. Tomo II. Lima. 2004. pp. 3-54
- [24] RAMALHO. Tratamiento de Aguas Residuales. Segunda edición. Editorial Reverté. España. 1996. pp. 112-116
- [25] IBID (23).
- [26] PERÉZ, Luis. *Teoría de la Sedimentación* [en línea]. [Fecha de consulta: 02 Marzo 2013]. Disponible en: < <http://escuelas.fi.uba.ar/iis/Sedimentacion.pdf>>.
- [27] MALDONADO, Victor.. *Tratamiento de Agua Coagulación y floculación* [en línea]. [Fecha de consulta: 01 Marzo 2013]. Disponible en: <<http://cdam.minam.gob.pe:8080/bitstream/123456789/109/9/CDAM0000012-8.pdf>>.
- [28] SALLOVITZ, Manuel. Tratado de Ingeniería Sanitaria. Tercera edición. Editorial El Ateneo. Buenos Aires. 1941. p. 184.
- [29] DEGRÉMONT. Manual Técnico del Agua. Cuarta edición. España. 1979. pp. 245-246
- [30] MUÑOS Tobar, Freddy y SEGURA Bastidas, Marco. Evaluación del proceso de potabilización de la planta de tratamiento de Puengasi. Trabajo de Grado. Ingeniero Civil. Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemáticas. Quito. 2000. p.178
- [31] IBID (28). pp. 255-260
- [32] DEGRÉMONT. Manual Técnico del Agua. Cuarta edición. España. 1979. pp. 269-271
- [33] WIKIPEDIA. *Categorías de Desinfección y su riesgo* [en línea]. Documento electrónico disponible en internet [Fecha de consulta: 03 Marzo 2013]. Disponible en: <<http://es.wikipedia.org/wiki/Desinfecci%C3%B3n>>.
- [34] DEGRÉMONT. Manual Técnico del Agua. Cuarta edición. España. 1979. pp. 620-622

- [35] SECRETARÍA DE SALUD LABORAL Y MEDIO AMBIENTE DE CANTABRIA. *Residuos generados en la limpieza de depósitos y almacenamiento* [en línea]. Documento electrónico disponible en internet [Fecha de consulta: 04 Marzo 2013]. Disponible en: <http://www.cantabria.ccoo.es/comunes/recursos/5/pub19823_ESTUDIO_POTABILIZACION_DEL_AGUA_EN_CANTABRIA._Condiciones_ambientales_y_laborales.pdf>.
- [36] SOLUCIONES PARA AGUA S.A. *Planta de Tratamiento de aguas residuales, nuevos modelos y Plantas innovadoras* [en línea]. Documento electrónico disponible en internet [Fecha de consulta: 05 Marzo 2013]. Disponible en: <<http://www.macrotecnologia.com/Productos/TratamientoAguaNegras.php>>.
- [37] EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO. Planta de tratamiento de agua potable de Conocoto. Manual de operación y mantenimiento, 22(48): 2- 23, mayo 2008.
- [38] ANDÍA, Yolanda. *Tratamiento de Agua Coagulación y floculación* [en línea]. Lima. 2000. [Fecha de consulta: 01 Marzo 2013]. Disponible en: <<http://www.frm.utn.edu.ar/archivos/civil/Sanitaria/Coagulaci%C3%B3n%20y%20Floculaci%C3%B3n%20del%20Agua%20Potable.pdf>>.
- [39] IBID (38).
- [40] REA Naranjo, Melissa. Diseño de un sistema de floculación hidráulica en la planta El Placer. Trabajo de Grado. Ingeniero Químico. Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería Química. Quito. 2012. p. 96

BIBLIOGRAFÍA

ARBOLEDA, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. Tercera edición. Editorial McGRAW-Hill. Bogotá. 2000.

BRIERE, François. Distribución de Agua Potable y Colecta de Desagües y de Agua de Lluvia. Primera edición. Editorial Andrée Laprise. Montreal. 2005.

HENRY, Glynn y HEINKE, Gary. Ingeniería Ambiental. Segunda edición. Editorial PRENTICE HALL. México. 1999.

NALCO. Manual de Agua: Su naturaleza. Tratamiento y Aplicaciones. Segunda edición. Editorial McGRAW-Hill. México. 1989.

NEMEROW, Nelson. Tratamiento de Vertidos Industriales y Peligrosos. Segunda edición. Editorial Días de Santos. Madrid. 1998.

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. *Guías para la Calidad del Agua Potable* [en línea]. Documento electrónico disponible en internet [Fecha de consulta: 04 Marzo 2013]. Disponible en: <http://www.cantabria.ccoo.es/comunes/recursos/5/pub19823_ESTUDIO_POTABILIZACION_DEL_AGUA_EN_CANTABRIA._Condiciones_ambientales_y_laborales.pdf>.

RODRÍGUEZ, Manuel. Depuración de Aguas Residuales: Modelación de Procesos de Lodos Activados. Primera edición. Editorial Gamonal. Madrid. 2006.

ROMERO Jorge. Calidad del Agua. Primera Edición. 2002.

WEBER, Walter . Control de la calidad del agua Procesos Fisicoquímicos. Tercera edición. Editorial Reverté. Barcelona. 2003.

ANEXOS

ANEXO A.

Fotografías de la Experimentación



Figura A.1. Equipo de prueba de jarras y material experimental



Figura A.2. Equipo de prueba de jarras (mezcla rápida)



Figura A.3. Equipo de prueba de jarras (mezcla lenta)



Figura A.4. Etapa de coagulación



Figura A.5. Etapa de floculación



Figura A.6. Etapa de sedimentación



Figura A.7. Formación del floculo

Equipo de medición de parámetros físico



Figura A.8. Turbidímetro



Figura A.9. pH metro



Figura A.10. Espectrofotómetro MEKK

Equipo de medición de parámetros inorgánicos



Figura A.11. Espectrofotómetro HACH

ANEXO B.

Norma Técnica de la ordenanza Ambiental 213 para el distrito Metropolitano

NORMA TÉCNICA PARA EL CONTROL DE DESCARGAS LÍQUIDAS DE SECTORES PRODUCTIVOS

1. OBJETO

La presente norma tiene por objeto limitar la concentración de contaminantes en los efluentes líquidos de origen industrial, comercial y de servicios, vertidos a cuerpos de agua o al sistema de alcantarillado, sobre la base del objetivo de calidad fijado para salvaguardar la salud y el bienestar de la población así como para permitir usos adicionales de los recursos.

2. ALCANCE

TODO EFLUENTE LÍQUIDO RESIDUAL PROVENIENTE DE ACTIVIDADES INDUSTRIALES, COMERCIALES Y DE SERVICIOS, PÚBLICA O PRIVADA ESTÁ SUJETO A LA APLICACIÓN DE LA PRESENTE NORMA TÉCNICA.

3. DISPOSICIONES GENERALES

- 3.1 Toda descarga proveniente de actividades en plantas o bodegas industriales, emplazamientos agropecuarios o agroindustriales, locales de comercio o de prestación de servicios, actividades de almacenamiento o comercialización de sustancias químicas en general, deberá ser vertida al receptor cuando se haya verificado el cumplimiento de los valores máximos permisibles.
- 3.2 Las medidas técnicas que se implementen buscarán como prioridad la reducción del nivel de contaminación en la fuente. En segundo lugar los tratamientos, previos a la descarga, cuya eficiencia garantice el control de contaminación.
- 3.3 Se prohíbe la dilución de descargas líquidas no depuradas utilizando el agua de las redes públicas o privadas, aguas subterráneas o aguas lluvias, así como el infiltrar en el suelo descargas líquidas no depuradas.
- 3.4 El regulado mantendrá para el control interno y control público, registros de los efluentes generados indicando: el proceso del que provienen, periodicidad de producción del efluente, tratamiento aplicado a los efluentes, características del efluente (análisis físico-químico), el caudal de los efluentes y su relación con datos de producción, dispositivos de medida y su control (frecuencia/tipo).
- 3.5 Como parte del control interno anual, se realizarán programas de control de las descargas líquidas y se presentarán los resultados de caracterización físico-química durante el mes de noviembre de cada año, utilizando el formulario establecido para el efecto.
- 3.6 Para la expedición de propuestas modificatorias a la presente norma técnica deberá previamente existir los estudios sociales, técnicos y económicos necesarios que justifiquen la medida, en concordancia con las políticas ambientales locales y considerando los criterios de calidad establecidos para el uso o los usos asignados en la normativa nacional.
- 3.7 Los lixiviados generados en los rellenos sanitarios cumplirán con los parámetros establecidos en la norma de descarga a cuerpos de agua.

- 3.8 Los sedimentos, lodos y sólidos provenientes de sistemas de potabilización de agua, o cualquier tipo de tratamiento doméstico, de servicios o industrial no deberán disponerse en cuerpos de agua, su disposición deberá cumplirse con las normas específicas que correspondan.

4. DEFINICIONES

- 4.1 Contaminación: es la presencia de materia orgánica, química, radioactiva o biológica en el agua y por lo cual se tiende a degradar su calidad, constituyendo un peligro para la salud humana y ambiental.
- 4.2 Contaminación puntual: es la descarga de agentes contaminantes en lugares específicos, por ejemplo a través de tuberías o alcantarillas, o en los cuerpos de aguas superficiales.
- 4.3 Cuerpo receptor o cuerpo de agua: Es todo río, lago, laguna, aguas subterráneas, cauce, depósito de agua, que sea susceptible de recibir directa o indirectamente la descarga de aguas residuales.
- 4.4 Efluente: líquido proveniente de un proceso de tratamiento, proceso productivo o de una actividad.
- 4.5 Receptor: alcantarillado o cuerpo de agua

5. LÍMITES MÁXIMOS PERMITIDOS PARA DESCARGAS LÍQUIDAS POR CUERPO RECEPTOR.

- 5.1 Los valores de los límites máximos permisibles, corresponden a promedios diarios de la concentración del correspondiente parámetro.
- 5.2 Los valores máximos permisibles detallados para el sector textil no se aplicarán si el establecimiento no presenta para su evaluación el valor de producción anual y el número de días laborables al año, debidamente notariados, en dicho caso se aplicarán normas de carácter general detalladas en el Anexo B, Tabla B. 1.

Anexo A. Límites máximos permisibles de descargas de sectores productivos.

Anexo B. Límites máximos permisibles por sectores productivos específicos.

Anexo C. Métodos analíticos aplicables.

Anexo D. Guía orientativa de los parámetros de descarga a analizarse. Los parámetros listados son orientadores para la caracterización de los efluentes líquidos.

Cada sujeto de control en función de los procesos e insumos que utilice deberá realizar la caracterización, por ejemplo: si la empresa realiza procesos de galvanoplastia se incluyen los metales pesados como parámetros a analizar.

6. MONITOREO Y EJECUCIÓN DE ENSAYOS

- 6.1 Los laboratorios que realicen ensayos analíticos para la determinación del grado de contaminación de las descargas líquidas deberán contar con el certificado de acreditación otorgado por el Organismo de Acreditación Ecuatoriano (OAE) o por un organismo

reconocido a nivel internacional con el cual exista o se establezca un acuerdo de reconocimiento mutuo con el OAE, dentro del campo de acción del laboratorio ambiental.

- 6.2 Para las determinaciones analíticas de los parámetros determinados, se deberán aplicar los procedimientos validados por el laboratorio y reconocidos por el OAE, o se deberán aplicar los métodos establecidos en el Anexo C.
- 6.3 Los requisitos técnicos para el monitoreo de efluentes líquidos industriales son un tanque o canal de disipación de energía y acumulación de líquido, y un vertedero para la medición de caudales. El regulado elegirá el tipo de vertedero conveniente para su instalación en función de las características del flujo descargado. En el caso de condiciones fuera de las especificadas por razones técnicamente justificadas, la EAC determinará los criterios y modificaciones a que deberán someterse los casos específicos para que pueda efectuarse los muestreos y la cuantificación del caudal de descarga.
- 6.4 Los resultados de los análisis se deberán obtener del análisis de muestras compuestas. En el caso de flujo continuo las muestras compuestas resultarán de muestras simples de acuerdo a la Tabla No. 1.

Tabla No. 1:

Horas por día que opera el proceso generador de la descarga	Número de muestras simples	Inventario entre toma de muestras simples (Horas)	
		Mínimo	Máximo
Hasta 8	4	1	2
Más de 8 y hasta 16	4	2	3
Más de 16 y hasta 24	6	3	4

Fuente. Dirección de Protección al Ambiente, Tijuana.

- 6.5 El número de muestras para el monitoreo anual será de al menos uno trimestral, y en su determinación se tomará en cuenta criterios técnicos relacionados con el proceso y tipo de descarga.
- 6.6 En caso de flujo discontinuo declarado, cuya frecuencia de descarga supere los tres meses, estará sujeto a lo aprobado en el Plan de Monitoreo Ambiental.

7. BIBLIOGRAFÍA

- DIRECCIÓN METROPOLITANA DEL MUY ILUSTRE MUNICIPIO DE GUAYAQUIL, "Guía para el Monitoreo de Aguas Residuales Industriales", 2004.
- FORO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS, "Guía Metodológica de Inventario de Los Recursos Hídricos", Folleto temático 3, 2004.

- MINISTERIO DEL AMBIENTE DEL ECUADOR, LIBRO VI De La Calidad Ambiental Ecuatoriana, Anexo No. 1 "Norma de descargas Líquidas a cuerpos de Agua o Al Sistema de Alcantarillado Sanitario", 2003.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE DEL ECUADOR, "Proyecto MAE/BID ATN/SF – 8182 – EC. Desarrollo del Sistema Descentralizado de Gestión Ambiental". Propuesta de Norma Prioritaria N° 3, 2004.
- REPÚBLICA DE CHILE. DECRETO N° 609/98. "Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos industriales líquidos a sistemas de alcantarillado", 1998.
- STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF THE WATER AND WASTERWATER, Ed. 20, 1998.
- DIRECCIÓN DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE. AYUNTAMIENTO DE TIJUANA. Formato "Registro Municipal de Descargas de Aguas Residuales". www.tijuana.gob.mx.

ANEXO A


TABLA A. 1: Límites máximos permisibles por cuerpo receptor

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	
			Alcantarillado	Cauce de agua
Aceites y grasas	A y G	mg/l	100	50
Aluminio	Al	mg/l	5,0	5,0
Arsénico total	As	Mg/l	0,1	0,1
Cadmio	Cd	Mg/l	0,02	0,02
Caudal máximo	-	l/s	1,5 veces el caudal (1)	4,5 dato referencial.
Cianuro	CN ⁻	Mg/l	1,0	0,1
Coliformes fecales	MNP/100ml		-	Remoción > 99,9% (2)
Cobre	Cu	Mg/l	1,0	1,0
Cromo Hexavalente	Cr ⁺⁶	Mg/l	0,5	0,5
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	Mg/l	0,2	0,2
Color real	Color real	unidades de color	-	Inapreciable en dilución: 1/20 (3)
Fósforo Total	P	Mg/l	15	10
Hidrocarburos Totales	TPH	Mg/l	20	20
Materia flotante	Visible	-	Ausencia	Ausencia
Manganeso	Mn	Mg/l	10,0	2,0
Mercurio (total)	Hg	Mg/l	0,01	0,005
Níquel	Ni	Mg/l	2,0	2,0
Organoclorados totales	Concentración	Mg/l	0,05	0,05
Organofosforados totales	Concentración	Mg/l	0,1	0,1
Plomo	Pb	Mg/l	0,5	0,2
Potencial de hidrógeno	PH		5-9	5-9
Sólidos Sedimentables	-	MLl	10	1,0

ANEXO C.

Resolución 6022 SST de la Secretaría de Ambiente.

10101


**Secretaría de
Ambiente**

Quito, DM 606022

Oficio No.
Ref. Trámite No. 5821

Señor Ingeniero
OTHÓN ZEVALLOS MORENO
Gerente General
Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento
Presente-

Estimado Othón:

En respuesta al Oficio No GG413 de 14 de Julio de 2009, adjunto sírvase encontrar el Informe del Comité de Normas Técnicas, relacionado con la Propuesta de límite máximo permisible de sólidos suspendidos totales (SST) para plantas potabilizadoras de agua presentado por la EPMAPS en el alcance al Estudio Justificativo de la Revisión de la Norma Técnica para el Control de Descargas Líquidas de Sectores Productivos, del cual se concluye entre otros lo siguiente:

- Una vez revisada y evaluada la documentación, en base a los sustentos técnicos emitidos durante todo el proceso y el monitoreo realizado a los sistemas de potabilización Bellavista, Puengastí, El Placer, El Troje, Nariaciento y El Quilcho, la Secretaría de Ambiente aprueba el valor de 335 mg/l para el parámetro SST, como máxima referencial, el mismo que será incluido en la próxima revisión de la Norma Técnica para el Control de Descargas Líquidas de Sectores Productivos.

La EPMAPS debe actualizar los PMA de las plantas potabilizadoras con la inclusión de actividades correspondientes al control y monitoreo que conlleven al cumplimiento de la norma para descargas líquidas en un término de 15 días, e informar a las Entidades de Seguimiento para la posterior aprobación de los PMA por parte de la Secretaría de Ambiente.

Con lo expuesto queda sin efecto lo dispuesto en el Oficio No.10572 de 14 de diciembre de 2008 relacionado a ".....de debe considerarse que hasta que no se convenga con el SMOA de la Norma, las actividades de los Planes de Manejo que correspondan a descargas líquidas de las plantas potabilizadoras serán definidas oportunamente en función del parámetro de norma, Límite Permisible de Sólidos Suspendidos, para este sector".


Con un cordial saludo.


Atentamente,


Pablo Suárez
Secretario de Ambiente

cc: Unidad de Control Ambiental - SA,
Entidades de Seguimiento: Congemipa, Auditoría Ambiental, Ritchisam, Aldir
PLA-LS-LI
27-09-2010

c.c. Ing. Juan Romero Enaap Quito.




PRESIDENCIA GENERAL
01 OCT. 2010
RECEBIDO

ANEXO D.

Norma ASTM D 2035-08



Designation: D 2035 – 08

Standard Practice for Coagulation-Flocculation Jar Test of Water¹

This standard is issued under the first designation D 2035; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This practice covers a general procedure for the evaluation of a treatment to reduce dissolved, suspended, colloidal, and nonsettling matter from water by chemical coagulation-flocculation, followed by gravity settling. The procedure may be used to evaluate color, turbidity, and hardness reduction.

1.2 The practice provides a systematic evaluation of the variables normally encountered in the coagulation-flocculation process.

1.3 *This standard does not purport to address the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

D 1129 Terminology Relating to Water

D 1193 Specification for Reagent Water

D 1293 Test Methods for pH of Water

D 3370 Practices for Sampling Water from Closed Conduits

D 6855 Test Method for Determination of Turbidity Below 5 NTU in Static Mode

D 7315 Test Method for Determination of Turbidity Above 1 Turbidity Unit (TU) in Static Mode

¹ This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee D19 on Water and is the direct responsibility of Subcommittee D19.03 on Sampling Water and Water-Formed Deposits, Analysis of Water for Power Generation and Process Use, On-Line Water Analysis, and Surveillance of Water.

Current edition approved May 1, 2008. Published May 2008. Originally approved in 1964. Last previous edition approved in 2003 as D 2035 – 80 (2003).

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For Annual Book of ASTM Standards volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

3. Terminology

3.1 *Definitions*—For definitions of terms used in this practice, refer to Terminology D 1129.

4. Summary of Practice

4.1 The coagulation-flocculation test is carried out to determine the chemicals, dosages, and conditions required to achieve optimum results. The primary variables to be investigated using the recommended practice include, but are not limited to:

4.1.1 Chemical additives,

4.1.2 pH,

4.1.3 Temperature, and

4.1.4 Order of addition and mixing conditions.

5. Significance and Use

5.1 This practice permits the evaluation of various coagulants and coagulant aids used in the treatment of water and waste water for the same water and the same experimental conditions.

5.2 The effects of concentration of the coagulants and coagulant aids and their order of addition can also be evaluated by this practice.

6. Interferences

6.1 There are some possible interferences that may make the determination of optimum jar test conditions difficult. These include the following:

6.1.1 *Temperature Change (During Test)*—Thermal or convection currents may occur, interfering with the settling of coagulated particles. This can be prevented by temperature control.

6.1.2 *Gas Release (During Test)*—Flotation of coagulated floc may occur due to gas bubble formation caused by mechanical agitator, temperature increase or chemical reaction.

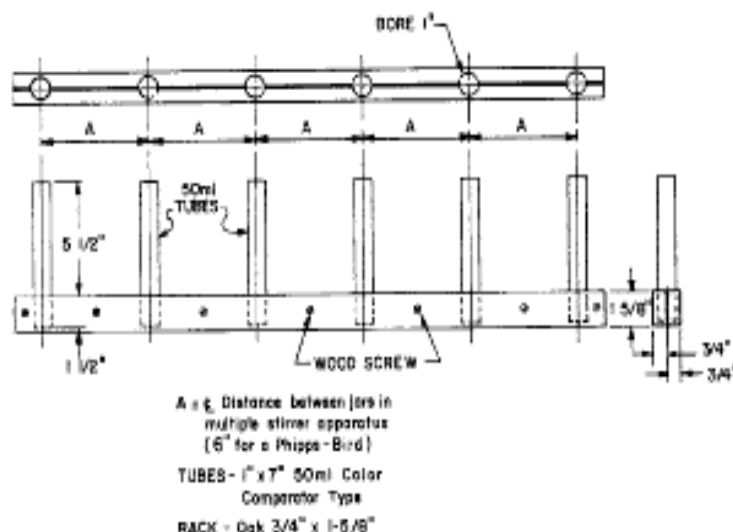


FIG. 1 Reagent Rack for Multiple Stirrer Jar Test Apparatus

6.1.3 *Testing-Period*—Biological activity or other factors may alter the coagulation characteristics of water upon prolonged standing. For this reason the period between sampling and testing should be kept to a minimum, with the time being recorded.

7. Apparatus

7.1 *Multiple Stirrer*—A multiposition stirrer with continuous speed variation from about 20 to 150 rpm should be used. The stirring paddles should be of light gage corrosion-resistant material all of the same configuration and size. An illuminated base is useful to observe the floc formation. Precautionary measures should be taken to avoid heat being imparted by the illumination system which may counteract normal settling.

7.2 *Jars (or Beakers)*, all of the same size and shape; 1500-mL Griffin beakers may be used (1000-mL recommended minimum size).

7.3 *Reagent Racks*—A means of introducing each test solution to all jars simultaneously. There should be at least one rack for each test solution or suspension. The racks should be similar to that shown in Fig. 1.

8. Reagents

8.1 *Purity of Reagents*—Reagent grade chemicals shall be used in all tests. Unless otherwise indicated, it is intended that all reagents shall conform to the specifications of the Committee on Analytical Reagents of the American Chemical Society, where such specifications are available.³ Other grades may be used, provided it is first ascertained that the reagent is of

sufficiently high purity to permit its use without lessening the accuracy of the determination.

8.2 *Purity of Water*—Unless otherwise indicated, reference to water for reagent preparation shall be understood to mean water that meets the quantitative quality specifications for Type IV reagent water conforming to Specification D 1193, Section 1.1.

8.3 The following chemicals and additives are typical of those used for test solutions and suspensions. The latter, with the exception of coagulant aids, may be prepared daily by mixing chemicals with water to a concentration of 10 (± 0.1) g/L (1.0 mL of test solution or suspension when added to 1 L of sample is equivalent to 10 mg/L):

- Prime Coagulants
 - Alum [$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$]
 - Ferric sulfate [$Fe_2(SO_4)_3 \cdot xH_2O$]
 - Ferric chloride [$FeCl_3 \cdot xH_2O$]
 - Ferrous sulfate [$FeSO_4 \cdot 7H_2O$]
 - Magnesium carbonate [$MgCO_3 \cdot 3H_2O$]
 - Sodium aluminate [$NaAlO_2$]
- Coagulant Aids
 - Activated silica
 - Anionic (polyelectrolyte)
 - Cationic (polyelectrolyte)
 - Nonionic Polymer
- Oxidizing Agents
 - Chlorine (Cl_2)
 - Chlorine dioxide (ClO_2)
 - Potassium permanganate ($KMnO_4$)
 - Calcium hypochlorite [$Ca(ClO)_2 \cdot 4H_2O$]
 - Sodium hypochlorite ($NaClO$)
- Alkalies
 - Calcium carbonate ($CaCO_3$)
 - Dolomitic lime
 - (58 % CaO , 40 % MgO)
 - Lime, hydrated [$Ca(OH)_2$]
 - Magnesium oxide (MgO)
 - Sodium carbonate (Na_2CO_3)
 - Sodium hydroxide ($NaOH$)
- Weighting Agents
 - Bentonite
 - Kaolin
 - Other clays and minerals

³ *Reagent Chemicals, American Chemical Society Specifications*, American Chemical Society, Washington, DC. For suggestions on the testing of reagents not listed by the American Chemical Society, see *Analytical Standards for Laboratory Chemicals*, BDH Ltd., Poole, Dorset, U.K., and the *United States Pharmacopeia and National Formulary*, U.S. Pharmacopeial Convention, Inc. (USPC), Rockville, MD.

Miscellaneous

Activated carbon (powdered)

8.4 Coagulant Aids—There are numerous commercially available coagulant aids or polyelectrolytes. All polyelectrolytes are classified anionic, cationic or nonionic, depending upon their composition. These aids may have the ability to produce large, tough, easily-settled floc when used alone or in conjunction with inorganic coagulants. A small dosage (under 1 mg/L) may permit a reduction in the dosage of, or complete elimination of, the coagulant. In the latter case, the polyelectrolyte would be considered the prime coagulant rather than a coagulant aid. Aids come in powdered and liquid form. Powdered aids should be prepared as 0.1 % solutions with appropriate aliquots to provide proper dosage. Always add powdered aids to the dissolving water rather than the reverse, and add slowly to the shoulder of a vortex created by stirring. If a vortex is not formed, the dry powder will merely collect on the surface of the water in gummy masses and become very difficult to dissolve. Dissolving time may vary from several minutes to several hours. Suggested manufacturers' procedures for wetting, dissolving, and storing should be followed when available. Liquid forms can be readily prepared to the above strength without difficulty.⁴

9. Sampling

9.1 Collect the water sample under test in accordance with the applicable Practices **D 3370**.

10. Procedure

10.1 Measure equal volumes (1000 mL) of sample into each of the jars or 1500-mL Griffin beakers. As many sample portions may be used as there are positions on the multiple stirrer. Locate beakers so that the paddles are off-center, but clear the beaker wall by about 6.4 mm (¼ in.). Record the sample temperature at the start of the test.

10.2 Load the test chemicals in the reagent racks. Use one rack for each series of chemical additions. Make up each tube in the rack to a final volume of 10 mL, with water, before using. There may be a situation where a larger volume of reagent will be required. Should this condition prevail, fill all tubes with water to a volume equal to the largest volume of reagent in the reagent rack. When adding slurries, it may be necessary to shake the rack to produce a swirling motion just prior to transfer.

10.3 Start the multiple stirrer operating at the "flash mix" speed of approximately 120 rpm. Add the test solution or suspensions, at predetermined dosage levels and sequence. Flash mix for approximately 1 min after the additions of chemicals. Record the flash mix time and speed (rpm).

10.4 Reduce the speed as necessary to the minimum required to keep floc particles uniformly suspended throughout the "slow mix" period. Slow mix for 20 min. Record the time for the first visible floc formation. Every 5 min (during the slow mix period), record relative floc size and mixer speed (rpm). If coagulant aids are used, mixing speed is critical because excessive stirring tends to break up early floc formation and may redispersed the aid.

10.5 After the slow mix period, withdraw the paddles and observe settling of floc particles. Record the time required for the bulk of the particles to settle. In most cases this time will be that required for the particles to settle to the bottom of the beaker; however, in some cases there may be interfering convection currents. If so, the recorded settling time should be that at which the unsettled or residual particles appear to be moving equally upward and downward.

10.6 After 15 min of settling, record the appearance of floc on the beaker bottom. Record the sample temperature. By means of a pipet or siphon, withdraw an adequate sample volume of supernatant liquor from the jar at a point one half of the depth of the sample, to conduct color,⁵ turbidity, pH and other required analyses. (Note 1) determined in accordance with Test Methods **D 6855** or **D 7315** (for turbidity) and **D 1293** (for pH). A suggested form for recording results is appended (see **Fig. 2**).

NOTE: 1—Tests for residual chemicals should be included, for example, alum; residual Al_2O_3 ; copperas; residual Fe_2O_3 ; etc.

10.7 Repeat steps 10.1-10.6 until all pertinent variables have been evaluated.

10.8 The times given in 10.3, 10.4, and 10.6 are only suggestions.

11. Reproducibility

11.1 It is recognized that reproducibility of results is important. To demonstrate reproducibility, the so-called 3 and 3 procedure is suggested. In this procedure, duplicate sets of 3 jars each are treated simultaneously with the same chemical dosages in jars 1 and 4, 2 and 5, and 3 and 6.

12. Keywords

12.1 coagulation; flocculation; jar tests

⁴ A periodically updated "Report on Coagulant Aids for Water Treatment" is published by the Environmental Protection Agency Office of Water Supply, Cincinnati, Ohio 45268, listing coagulant aids that may be used in water treatment without adverse physiological effects on those using the water, based on information submitted by the manufacturers or distributors, or both.

⁵ For the color determination, reference is made to *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*, Fourteenth edition, American Public Health Association, Inc., New York, NY, 1975, pp. 64-71.

(a) Indicate order of addition of chemicals.

FIG. 2 Jar Test Data

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19380-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

ANEXO E.

Ficha de seguridad del floculante [Polímero LIPESA 1560 PWG]

EMAAP Quito ISO 9001	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE POLÍMERO	REVISION	N.- 00
		FECHA	2010/01/13
		HOJA	1 de 2

1. **Uso:** Como ayudante de floculación en proceso de Tratamiento de agua Potable
Tipo: Catiónico o aniónico.
Presentación: Granulado de grano fino.
Contenido de monómero residual: Máximo 0,05% en peso de acrilamida monómera.
Rango efectivo de pH: 4 a 8.
Tiempo de estabilidad del producto: mínimo 9 meses.
Máxima dosis utilizable: 1 mg/l.

2. **ENVASE:** El producto debe empacarse en fundas resistentes de una de las siguientes alternativas:
 - a. Papel: mínimo 3 capas.
 - Plástico: una capa.
 - b. Sólo plástico: mínimo dos capas.
 - c. Sólo papel: no se aceptará este tipo de envase.

El peso neto del producto en cada funda será de 25 a 40 Kg.

Información que debe incluir el envase:

 - a. Fabricante, nombre comercial y naturaleza del producto.
 - b. Peso neto.
 - c. Nombre y dirección del fabricante.
 - d. Fecha de fabricación.
 - e. Número de lote.
 - f. Máxima dosis utilizable.
 - g. Avisos y medidas de precaución en el manejo del producto.

3. **CERTIFICACION:**

El oferente, adjuntará a su oferta técnica, el listado de la NSF (National Sanitation Foundation International/USA), de productos certificados bajo la norma NSF/ANSI Standard 60 " Drinking Water Treatment Chemical – Health Effect", en el cual conste que el producto ofertado, está acreditado y certificado por la NSF para uso en el tratamiento de agua para uso humano.

El listado actualizado, podrá ser obtenido de la página web de la NSF, fuente a la cual, la EMAAP-Q recurrirá para verificar la veracidad del listado presentado.

4. **UTILIZACIÓN PREVIA EN PLANTA:**

El oferente presentará la documentación que acredite que el producto ofertado, ha sido probado y empleado satisfactoriamente en las plantas de tratamiento de Puengasí y Bellavista preferentemente, ó en una de ellas.

EMAAP Quito ISO 9001	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE POLÍMERO	REVISION	N.- 00
		FECHA	2010/01/13
		HOJA	2 de 2

5. CAPACITACION Y APOYO TÉCNICO:

El proveedor deberá ofrecer: Asesoría, capacitación, adiestramiento en la optimización de los procesos de tratamiento al personal operativo y profesional de las plantas de tratamiento, para ello, deberá adjuntar a su oferta el programa de actividades de capacitación y asesoría a desarrollar con personal técnico de fábrica.

6. LUGAR DE ENTREGA

Bodegas La Chorrera de la EMAAP-Q.

7. CERTIFICACIÓN DE ORIGEN

A la entrega del producto, el proveedor adjuntará copias de los certificados de origen del mismo.

8. ANEXOS:

Ninguno



Dr. Carlos Espinosa Hidalgo
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN (E)

ANEXO F.

Informe sobre Autorización Trabajo de Tesis



Empresa Pública
Metropolitana
de Agua Potable
y Saneamiento

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN 2 012

INGRESO DE DOCUMENTOS				
ORIGEN: UNIDAD SISTEMAS MENORES		Tipo Documento:	Número: MEMORANDO GOPS-382-2012	
Fecha del Documento: 2011-10-22	Fecha de Ingreso:	Anexos: -OFICIO 331-DIQ-UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR		
ASUNTO: INFORME SOBRE AUTORIZACION TRABAJO DE TESIS DIEGO BLADIMIR VASCONEZ FLORES				
TRÁMITE				
ENVIADO A	OBJETO	RESPONSABLE	FECHA	
1 DR. CARLOS ESPINOSA	FAVOR SU ATENCION AL MEMORANDO GOPS-382-2012	F.M.T.	2012-10-22	
2 M. Subgerente A.P.	Favor su atención.	CEH.	2012-10-27	
3 S. G. de Operación	Adjunto informe requerido, se recomienda autorizar el trabajo de investigación para grado.	(C)	2012.10.27	
4 Producción:	Coordinar con talento humano este requerimiento.			
5			2012/10/30	
6 Ing Freddy Muñoz	Favor hacer la coordinación dispuesta por el señor GO.	CEH.	2012-11-05	
7				
8 Ing. Homero Castañeda	Favor, se solicite el procedimiento del departamento referente al plan de tesis presentado, y del interés institucional con el objetivo de la tesis. Revisar el tema propuesto en función de la información existente a fin de definir necesidad del tema.	F.M.T.	2012-11-06	
9				
10				
11				
12				

ANEXO G.

Aprobación del Trabajo de Tesis Departamento de Producción



Empresa Pública
Metropolitana
de Agua Potable
y Saneamiento

MEMORANDO GOP-211-2 012

PARA: Ing. Wilson Oña Gualotuña
SUBGERENTE DE AGUA POTABLE

DE: JEFE DEL DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN -E-

ASUNTO: Trabajo de investigación para su graduación, en el tema "Reducción del nivel de Sólidos Suspendidos del agua de retrolavado en la etapa de Filtración"

FECHA: 2012-10-29

En atención a sumilla del señor Gerente de Operaciones inserta en Oficio N° 331-DIQ, suscrito por el Decano de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Central del Ecuador, mediante el cual solicita autorización para que el señor Diego Bladimir Vásquez Flores, egresado de dicha facultad, pueda realizar su trabajo de investigación para su graduación, en el tema "Reducción del nivel de Sólidos Suspendidos del agua de retrolavado en la etapa de Filtración" a ejecutarse en la Planta Palugillo y, con base en el informe del Jefe de la Unidad Sistemas Menores, me permito informar que el Departamento de Producción no tiene ningún inconveniente en prestar las facilidades que requiera el señor Diego Vásquez para la ejecución de su trabajo.

Dr. Carlos Espinosa H.
JEFE DEL DEPARTAMENTO PRODUCCIÓN -E-



ANEXO H.

Aprobación del Trabajo de Tesis Unidad de Sistemas Menores



MEMORANDO GOPS-382-2012

PARA: Dr. Carlos Espinosa Hidalgo
JEFE DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN

ASUNTO: Informe sobre autorización trabajo de tesis

FECHA: 2012-10-22

En atención a sumilla del 17 de octubre de 2012 inserta en Oficio N° 331-DIQ, del 10 de octubre de 2012, me permito indicar que el trabajo propuesto tiene como título "Reducción del nivel de sólidos suspendidos del agua de retrolavado en la etapa de filtración" y está propuesto llevarlo a efecto en la Planta Paluguillo, para lo cual, esta Unidad dará todo el apoyo relacionado para el buen cumplimiento del trabajo de investigación.

En este sentido, y considerando que el trabajo propuesto se encasilla en el área de la gestión ambiental, solicito que este trámite sea encaminado al Departamento Sistema Empresarial Ambiental, Unidad Gestión Ambiental, a fin de que se continúe con la diligencia respectiva.

A handwritten signature in blue ink, belonging to Ing. Freddy Muñoz Tobar, is positioned above the printed name.

Ing. Freddy Muñoz Tobar
JEFE UNIDAD SISTEMAS MENORES